Experimentelle Untersuchungen über Lichtschutzeinrichtungen an grünen Blättern.

Mit 6 Abbildungen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt

von

Kurt Baumert

aus Magdeburg.

Tag der mündlichen Prüfung: 6. März 1907.

Breslau
Druck von R. Nischkowsky
1907.

202

Referent: Prof. Dr. Solereder.

Dekan: Prof. Dr. Lenk.

Inhaltsübersicht.

A. Einleitung.

B. Historischer Teil.

I. Theorie der Lichtschutzeinrichtungen.

II. Die bisher beschriebenen Lichtschutzeinrichtungen.

1. Bewegungsfähigkeit der Chlorophyllkörner.
2. Einstellung in den Schatten anderer Organe.
   a) Ältere Laubblätter als Lichtschutz.
   b) Nebenblätter als Lichtschutz.
   c) Blattscheiden als Lichtschutz.
   d) Zusammendrängung der Vegetationsorgane zu dichten Haufen, Polstern und Rasen.
3. Periodische Bewegungen der Laubblätter.
4. Meridian-(Profil-)Stellung turgescenter Blätter.
5. Profilstellung nicht turgescenter Blätter.
6. Einrollung, Faltung und Runzelung der Blätter.
7. Entwicklung einer glänzenden Oberfläche.
8. Dichte Haarbekleidung.
9. Ausbildung cuticularer Wachsschichten.
10. Krystallinische, salzkrustenbildende Überzüge und Kalkablagerungen
11. Anatomische Struktur der Sonnenblätter.
12. Farbstoff.
13. Panachierte Blätter.
14. Zellinhaltsbestandteile.
15. Einige andere angebliche Lichtschutzeinrichtungen.

C. Experimenteller Teil.

I. Methode der Untersuchung.

II. Die Größe der Lichtzerstreuung an mit Trichomen bedeckten Blattgebilden.

1. Schuppenhaare der Bromeliaceen.
2. Gewöhnliche Haare anderer Pflanzengruppen.

III. Die Wirkung der glänzenden Oberflächen.

IV. Die Reflexion des Lichtes durch Wasserüberzüge auf den Blättern.

V. Lichtschutz durch nicht-trichomatöse Auflagen auf der Epidermis.

1. Wachsauflagen.
2. Rauhe Oberflächen.

VI. Andere Ergebnisse.

D. Schluß (Resultate).

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549813_0123

§ 1.

Einleitung.

Die von Mez[1]) als „extrem atmosphärisch“ bezeichneten Bromeliaceen-Formen haben in letzter Zeit mehrfach die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. Besonders war es die Aufnahme tropfbar flüssigen Wassers aus der Atmosphäre mit Hilfe der, alle grünen Teile dieser Pflanzen bedeckenden, eigenartigen Schuppen, die untersucht und erklärt wurde[2]).

Auch die phylogenetische Entwicklung dieser merkwürdigen Aufnahmetrichome wurde studiert und mit ihrer Hilfe der Nachweis geführt, daß die extrem atmosphärischen Bromeliaceen-Formen, die im tropischen Amerika teils an nackten Felsen, teils in den Wipfeln vielfach während der Dürrezeit entlaubter Bäume wachsen, nicht von Arten des tiefschattigen Urwaldes ihren Ursprung nehmen, sondern von Formen der offenen Campos abstammen[3]).

Die extrem atmosphärischen *Bromeliaceae* sind Pflanzen, die des höchsten „Lichtgenusses“[4]) bedürfen, wie ihr Standort beweist. Dabei haben sie eine optische Eigenschaft, die allen Beobachtern aufgefallen ist: weiße Farbe.

---

[1]) Mez, Physiologische Bromeliaceen-Studien I. in Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. XL. (1904) p. 158.

[2]) A. F. W. Schimper, Bot. Mitt. a. d. Tropen II. (1888), p. 66 ff., auch reproduziert in Schimper, Pflanzengeogr. auf physiol. Grundl. (1898) p. 349.

Mez, l. c. p. 157–229.

Steinbrink, Flora XCIV. (1905) p. 465 und in Ber. d. deutsch. bot. Ges. 20 (1902).

[3]) Tietze, Die Entwicklung der wasseraufnehmenden Bromeliaceen-Trichome, Inaug.-Diss. Halle 1906 p. 48.

[4]) Wiesner versteht unter Lichtgenuß „das Verhältnis des gesamten Tageslichtes zu jener Lichtmenge, welche eine bestimmte Pflanze, bzw. ein bestimmtes Organ einer Pflanze, auf dem natürlichen Standorte empfängt“.

Am bekanntesten unter ihnen ist *Tillandsia usneoides,* die „Barba del Palo“ der spanischen Südamerikaner, welche, wie ihr Name *usneoides* sagt, durch Wachstum und Aussehen aufs Lebhafteste an *Usnea barbata* und andere Flechten unserer Wälder erinnert. Ganz besonders ist es die weiße Farbe, welche diese Pflanzengebilde im trockenen Zustande aufweisen, die diese sonderbare physiognomische Übereinstimmung mit Flechten bedingt.

Die weiße Farbe wird bewirkt durch Zerstreuung des einfallenden Lichtes an den Membranen der wasseraufnehmenden Trichome. Sie ist nur solange vorhanden, als die Kapillarräume zwischen den Schuppenhaaren nicht mit Wasser gefüllt sind; die weiße Farbe verschwindet dagegen, genau wie dies bei unseren Flechten der Fall ist, sofort, wenn genügende Befeuchtung eintritt. „Ein kleiner Wassertropfen auf ein solches Blatt gelegt, verhält sich ganz ähnlich wie auf Fließpapier; er verschwindet in einigen Sekunden und hinterläßt einen dunklen Fleck[5].“

So ist diese Eigenschaft der extrem atmosphärischen *Bromeliaceae* direkt bedingt durch das Vorhandensein großer Mengen von Schuppenhaaren, die das atmosphärische Wasser aufzunehmen bestimmt sind; es handelt sich also bei der Zerstreuung des Lichtes an den Membranen um eine nur sekundäre Bedeutung besitzende Eigenschaft dieser Schuppenbedeckung.

Trotzdem muß eine derartig auffallende Einrichtung für das Leben der bezeichneten Pflanzen eine gewisse und zwar nicht geringe Bedeutung haben.

Die Beantwortung der Frage, wieviel des einfallenden Lichtes durch diese Schuppen zerstreut wird und welche Bedeutung die Lichtzerstreuung an dem oberflächlichen Schuppenbelag für das Leben der extrem atmosphärischen Bromeliaceen besitzt, wurde mir von Herrn Prof. Mez als Aufgabe gestellt. Ich bin Herrn Prof. Mez hierfür sowie auch für die liebenswürdige Anleitung und Unterstützung, die er mir bei den Untersuchungen selbst zuteil werden ließ, zu außerordentlichem Dank verpflichtet.

Denn durch diese Fragestellung bin ich darauf aufmerksam geworden, daß eine ganze Anzahl ähnlicher Einrichtungen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit als Lichtschutzeinrichtungen gedeutet werden können, in anderen Familien des Pflanzenreichs in der Litteratur angemerkt werden, ohne daß bisher Genaueres über die Art und vor allem über die Ergiebigkeit ihrer Wirksamkeit bekannt geworden wäre.

So hat sich die Behandlung meines Themas zu einer allgemeineren Ausführung über Lichtzerstreuung resp. Lichtreflexion an phanerogamen Laubblättern entwickelt.

Speziell habe ich es versucht, die in der (unten zusammengefaßten) Litteratur ohne experimentelle Begründung als Lichtschutzanpassungen beschriebenen Reflex- und Zerstreuungserscheinungen an phanerogamen Laubblättern qualitativ und quantitativ durch Versuche klarzustellen.

---

[5]) Schimper, A. F. W., Die epiphytische Vegetation Amerikas. Jena 1888. p. 70.

Es sei jedoch besonders darauf hingewiesen, daß sich die nachfolgenden Untersuchungen über Lichtschutz nicht speziell auf die mit dem Auge wahrnehmbaren Lichtstrahlen beziehen, sondern ganz allgemein auf sämtliche von einer Lichtquelle ausgehenden Strahlen.

Historischer Teil.

§ 2.

Theorie der Lichtschutzeinrichtungen.

Die Anschauung, die sich auf die Versuche von Wolkoff[1]), van Tieghem[2]) und Reinke[3]) begründete, daß bei Zunahme der Beleuchtung [bis zu einem gewissen Maximum[3])] die Kohlensäurezerlegung proportional zur Intensität (Konzentration) des Lichtes steige, daß dementsprechend bei stärkster Beleuchtung die stärkste Assimilation, also die intensivste Ausnützung des Lichtes stattfinde, wurde zuerst von Wiesner[4]) als auf Spezialfälle zurückzuführen nachgewiesen. Wiesner[4]) hat gezeigt, daß die Menge des ausnützbaren Lichtes und mit ihr der Lichtgenuß[5]) der Laubblätter verschiedener Landpflanzen außerordentlich verschieden ist. Die Zahl der Pflanzen, die nach ihrer Gestaltung die Fähigkeit besitzen, das gesamte Tageslicht zu genießen, ist nach Wiesner verhältnismäßig sehr gering. Durch die Vermehrung, die Gestalt und die Lage der Organe vermindert die überwiegende Mehrzahl der Gewächse den möglichen Lichtgenuß; wichtiger als das direkte Sonnenlicht ist nämlich für das Pflanzenleben das geschwächte Sonnenlicht und besonders das diffuse Tageslicht[6]). Je größer die herrschende Lichtstärke ist, desto kleiner ist in der Regel der Anteil, der vom Gesamtlicht der Pflanze zugeführt wird[4]). Die Abschwächung des intensiven Sonnenlichtes wird jedoch um so geringer, je niedriger die Temperaturen sind, bei denen die Pflanze zu vegetieren gezwungen ist[4]).

In ausführlichen Arbeiten haben auch Stahl[7]) und Berthold[8]) darauf

---

[1]) Wolkoff, Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1866—67. Bd. 5 p. 12—30.

[2]) van Tieghem, Compt. rend. 1869, Bd. 69 p. 482.

[3]) Reinke, Untersuchungen über die Einwirkung des Lichtes auf die Sauerstoffausscheidung der Pflanzen. Bot. Ztg. 1883, 41. Jahrg. No. 42—44 p. 716, 737.

[4]) Wiesner, J., Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiol. Gebiete. I—V. (1893—1905). Sitzber. d. Wiener Akad. Über das photochemische Klima. Denkschr. d. Wiener Akad. Bd. 64 (1896) und Bd. 67 (1898), u. a. Arb.

[5]) l. c. § 1 Anm. 4.

[6]) cf. Pfeffer, Pflanzenphysiol. II. (1904) p. 109 u. d. daselbst angef. Lit.

[7]) Stahl, Über sog. Kompaßpflanzen 1881. Sep. a. d. Jenaisch. Zeitschr. f. Naturwiss. Bd. 15, N. F. Bd. 8 p. 381 ff.

[8]) Berthold, G., Über die Verteilung der Algen im Golf von Neapel nebst einem Verzeichnis der bisher daselbst beobachteten Arten. Mitt. a. d. zool. Stat.

hingewiesen, daß für viele Pflanzengruppen die intensivste Beleuchtung keineswegs die vorteilhafteste ist, sondern unter Umständen direkt schädigend wirken kann.

Es berührt das Thema meiner Arbeit nicht, ob die Nachteile, die durch intensive Beleuchtung bei vielen Pflanzen hervorgerufen werden, durch Schädigung der Chromatophoren oder der Protoplasten zustande kommen[9]); jedenfalls steht fest, daß viele Pflanzen keineswegs bei voller Sonnenbestrahlung die Höchstmenge der Lichtausnützung erreichen, sondern herabgeminderten Lichtgenuß erstreben.

Schon durch die Versuche von Detlefsen[10]) und Pfeffer[11]) wurde nachgewiesen, daß nur eine ganz geringe Menge der zugestrahlten Sonnenstrahlen für die Assimilation zur Verwendung kommt. Den in der Kohlensäurezersetzung nutzbar gemachten Teil berechnet Pfeffer bei *Nerium Oleander* zu weniger als ein Prozent der gesamten Sonnenstrahlen und auch nach Detlefsen beträgt er nur ca. 0,8%[12]). Im besonderen fand Detlefsen bei *Urtica dioica* 0,9%, bei *Asarum europaeum* 1,1%. Detlefsen kam es bei seinen Versuchen vor allem darauf an, zu zeigen, „daß die Bewegungsenergie des von einem Blattstück durchgelassenen Sonnenlichtes, gemessen an der Erwärmung eines kleinen Thermoelements, kleiner ist, wenn das Blattstück sich in Luft befindet, die 10% Kohlensäure enthält, als wenn es in kohlensäurefreier Luft ist, und daß ferner die gefundene Verminderung der Bewegungsenergie des Lichtes bei der Assimilation mit der oben berechneten Zahl genügend übereinstimmt".

Andere Forscher[13]) dagegen betonten, daß die Menge der Sonnenstrahlen, die zur Assimilation verwendet wird, ziemlich bedeutend ist (bis 40% der Gesamtmenge der Sonnenstrahlen), und auch Linsbauer[14]) gibt in einer neueren Arbeit über die Durchleuchtung von Laubblättern an, „daß ein großer Teil des auffallenden Lichtes im Blatt zurückgehalten wird", wovon er nur die Verhältnisse ausschließt, die bei sehr schief auffallenden Sonnenstrahlen und bei lackierten Blättern auftreten.

---

zu Neapel, 1882, Bd. III. p. 393—536, Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Meeresalgen. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1882 Bd. 13 p. 569—717.

[9]) cf. Pfeffer, l. c. I. (1897) p. 344.

[10]) Detlefsen, Die Lichtabsorption in assimilierenden Blättern. Arb. d. Bot. Inst. in Würzburg 1888 Bd. III. p. 543.

[11]) Pfeffer, l. c. I. p. 331.

[12]) Detlefsen, l. c. p. 542 und „Wissen der Gegenwart", Leipzig-Prag 1887 Bd. 59 p. 133 ff.

[13]) Engelmann, Bot. Ztg. 1884 p. 102, 1886 p. 68, 1888 p. 689.

Timirjasew, Über die Menge der nützlichen Arbeit, welche Chlorophyll leistet; Arb. d. St. Petersb. Ges. d. Naturf. Bd. XIII., H. 1 1882 p. 9—10. (Russisch) Ref. 46 J. bot. J. 1885 Bd. XIIIa. p. 21.

[14]) Linsbauer, L., Untersuchungen über die Durchleuchtung von Laubblättern. Bot. C. Beihefte 10. 1901 p. 77.

Eine Klärung werden diese widersprechenden Angaben dadurch erhalten, daß die Verallgemeinerung der an wenigen Objekten gewonnenen Resultate eingeschränkt und die individuellen Verhältnisse mehr in den Vordergrund gestellt werden.

Das verschiedene Verhalten verschiedenartiger Untersuchungsobjekte wird offenbar durch Anpassungsverhältnisse bedingt, wobei besonders die submersen Wasserpflanzen sich, ihrem ganzen abweichenden Gasaustausch und ihren speziellen Erwärmungsverhältnissen entsprechend, anders zu verhalten scheinen als Landpflanzen. Für diese gelten jedenfalls die Angaben Reinkes[15]) über Proportionalität von Beleuchtung und Assimilation nicht, wie ganz besonders auch aus den neuest erschienenen Arbeiten von Brown und Escombe[16]) und Blackman und Matthaei[17]) hervorgeht, die durch zahlreiche Versuche nachweisen, daß die Lichtintensität, welche zur Assimilation verwendet wird, eine zwar die Angaben von Detlefsen und Pfeffer übersteigende, aber immerhin sehr geringe und ganz konstante ist, so daß alle weiteren Strahlen, soweit sie im Blatte verbleiben, nicht auf die Assimilation, sondern auf die Verdunstungsgröße allein Einfluß besitzen.

Die von Brown und Escombe zu ihren Versuchen benutzten Blätter stammten von krautigen Pflanzen, z. B. *Helianthus annuus, Senecio grandifolius, Petasites albus* und *officinalis, Tropaeolum majus, Polygonum Weyrichii* und *P. sachalinense* etc. Die Versuche zeigten, daß das Blatt in der Umwandlung der Strahlen sehr verschwenderisch ist, insofern nur ein sehr kleiner Teil der einfallenden Sonnenstrahlen für die Hauptfunktion des Blattes, die Photosynthese, verbraucht wird. Selbst in sehr gemäßigtem Sonnenlicht sind die photosynthetischen Strahlen in größerer Menge vertreten als sie das Batt gebrauchen kann; daher konnte auch die Intensität der Sonnenstrahlen auf $^1/_{12}$ der ursprünglichen reduziert werden, ehe eine merkliche Verminderung der assimilatorischen Tätigkeit eintrat[18]).

Dadurch werden nun die bei Landpflanzen, speziell bei Arten trockener Standorte sich findenden extremen Lichtschutzeinrichtungen verständlich.

Durch zahlreiche Beobachtungen und Kulturversuche, besonders in neuerer Zeit[19]), ist nämlich gezeigt worden, daß viele Pflanzen infolge äußerer Ein-

---

[15]) l. c. § 2 Anm. 3.

[16]) Brown and Escombe, Researches on some of the physiological processes of green leaves with special reference to the interchange of energy between the leaf and its surroundings. Proc. of the Roy. Soc. of London, Series B. Vol. LXXVI. 1905 p. 86.

[17]) Blackman and Miss Matthaei, Experimental researches in vegetable assimilation and respiration. IV. A quantitative study of carbon dioxide assimilation and leaf temperature in natural illumination. Proc. of the Roy. Soc. of London. Series B. Vol. LXXVI. 1905 p. 458.

[18]) Brown and Escombe, l. c. p. 86.

[19]) Hansgirg, Phyllobiologie 1903 p. 17—20, 24—26, 28.

wirkungen (z. B. Trockenheit, Wärme, Licht usw.) oft in kurzer Zeit entsprechende Anpassungserscheinungen ausbilden, die bei hinreichend stark einwirkenden äußeren Faktoren geradezu zu Schutzanpassungen werden.

In den Tropen, wo infolge des intensiven Sonnenlichtes, langanhaltender Trockenheit und Regengüsse etc., diese Schutzeinrichtungen natürlich stärker hervortreten, als in unserer gemässigten Zone, sind denn auch die zahlreichsten Beobachtungen dieser Art gemacht worden; allen diesen Beobachtungen werden jedoch noch phylogenetische Untersuchungen und physiologische Experimente angereiht werden müssen, um noch so manches Zweifelhafte und unerklärt Gebliebene in exakter Weise zu entscheiden und zu begründen[20]).

§ 3.

Die bisher beschriebenen Lichtschutzeinrichtungen.

Von den im Pflanzenreich bekannt gewordenen Lichtschutzeinrichtungen seien genannt:

1. Die Bewegungsfähigkeit der Chlorophyllkörner.
2. Einstellung der Blätter in den Schatten anderer Organe:
   a) ältere Laubblätter als Lichtschutz,
   b) Nebenblätter als Lichtschutz,
   c) Blattscheiden als Lichtschutz,
   d) Zusammendrängung der Vegetationsorgane zu dichten Haufen, Polstern und Rasen.
3. Periodische Bewegungen der Laubblätter.
4. Meridian- (Profil-) Stellung turgescenter Blätter.
5. Profilstellung nicht-turgescenter Blätter.
6. Einrollung, Faltung und Runzelung der Blätter.
7. Entwicklung einer glänzenden Oberfläche.
8. Dichte Haarbekleidung.
9. Ausbildung cuticularer Wachsschichten.
10. Krystallinische, salzkrustenbildende Überzüge und Kalkablagerungen.
11. Anatomische Struktur der Sonnenblätter.
12. Roter Farbstoff.
13. Panachierte Blätter.
14. Zellinhaltsbestandteile.
15. Einige andere angebliche Lichtschutzeinrichtungen: Sekretion leicht flüchtiger ätherischer Öle, die Nervatur der Blätter und der die Blattflächen bedeckende Staub.

---

[20]) Hansgirg, l. c. p. 20, 49, 476.
Ursprung, Die physikalischen Eigenschaften der Laubblätter, Bibliotheca Botanica, Heft 60, Stuttgart 1903, p. 79, 112 u. a.

In der vorliegenden Abhandlung eine allgemeine Aufzählung und Kritik der in Frage kommenden Litteratur zu unternehmen, kann nicht beabsichtigt werden. Dagegen will ich die wichtigsten Ergebnisse der bisherigen Forschung, nach den eben angeführten 15 Gesichtspunkten geordnet, zusammenstellen, wobei ich nur auf die zuverlässigeren Publikationen zurückkomme, denn bei einer großen Anzahl der die Lichtschutzeinrichtungen behandelnden Publikationen fällt auf, daß die Fragestellung wenig exakt ist, die Resultate nur selten auf experimentellem Wege bestätigt und die Größe der einwirkenden Faktoren noch seltener gemessen wurde.

§ 4.

1. Bewegungsfähigkeit der Chlorophyllkörner.

Daß durch intensives Licht die Chlorophyllkörner zerstört werden können, haben Wiesner[1]) u. a. eingehend dargetan. Die photischen Orientierungen der Chloroplasten müssen daher als ein direktes Schutzmittel angesehen werden, um die Chlorophyllkörner vor dem Einfluß des zu intensiven Lichtes zu bewahren[2]). Die Chlorophyllkörner wandern dabei aus der Flächen- in die Profilstellung[3]); es ist dieser Vorgang manchmal auch schon daran zu erkennen, daß bei der Flächenstellung das betreffende Organ lebhaft grün, bei der Profilstellung dagegen viel heller erscheint[4]), womit natürlich nicht die Erscheinung verwechselt werden darf, die durch partielle Zerstörung des Chlorophylls bewirkt wird. Während die Chlorophyllkörner im Schwammparenchym bei schwacher Beleuchtung Flächenstellung, bei intensiver Beleuchtung Profilstellung annehmen, zeigen die Chlorophyllkörner im Palisadenparenchym nur Profilstellung[5]). In diesem Fall ist die Eigenschaft mancher unbeweglicher Chloroplasten, im Sonnenlicht sich abzuflachen und der Zellwand eng anzuschmiegen, im diffusen Licht dagegen sich abzurunden und halbkugelförmig in das Zelllumen hineinzuragen, vielfach vorteilhaft[6]). Das parallel zur Längsachse einfallende Licht trifft im ersteren Fall die Chlorophyllkörner unter einem spitzeren Winkel und wird dadurch in seiner Wirkung geschwächt[7]).

---

[1]) Wiesner, J., Die natürlichen Einrichtungen zum Schutze des Chlorophylls der lebenden Pflanze. Festschr. zur Feier d. 25jährig. Besteh. d. K. K. zool. bot. Ges. in Wien. 1876 p. 34—40.

[2]) Pfeffer, l. c. II. p. 779.

[3]) ibid. p. 780—783.

[4]) ibid. p. 787.

[5]) Stahl, E., Über den Einfluß der Lichtintensität auf Struktur und Anordnung des Assimilationsparenchyms. De Barys Bot. Ztg. Leipzig 1880. 38. Jahrgang No. 51 p. 870.

[6]) Stahl, E., Über den Einfluß von Richtung und Stärke der Beleuchtung auf einige Bewegungserscheinungen im Pflanzenreiche. Bot. Ztg. 1880 No. 18—24 p. 365.

[7]) cf. Pfeffer, l. c. II. p. 784.

In den Tropen nehmen die Blätter mancher Gewächse, die geringerer Lichtintensität angepaßt und im Schatten von lebhaft grüner Farbe sind, im Sonnenschein eine gelbliche bis weiße Farbe an. Die in indischen Städten häufig als Alleebaum gepflanzte *Pisonia alba* Spanoghe, die als ein typisches Beispiel einer bezüglich des Chlorophyllschutzes unvollkommen eingerichteten Pflanze dienen kann[8]), zeigt an sonnigen Stellen ein durch Schädigung des Chlorophylls bewirktes, auffallend helles Gelb bis Weiß des Laubes[9]). Auch bei anderen Pflanzen der Tropen wird durch das Licht häufig die Chlorophyllbildung unterdrückt[8]).

Diese Erscheinung ist nicht mit dem längeren Hinausschieben der Chlorophyllbildung zu verwechseln, das als Schutzeinrichtung des Chlorophylls in jugendlichen Blättern zu deuten ist (z. B. *Connarus villosus*)[8]). Von unseren einheimischen Pflanzen zeigen viele Laubhölzer, z. B. Weiden, Pappeln, Eichen usw. solche durch starke Beleuchtung hervorgerufene Verblassung; durch künstliche Abdämpfung des Lichtes ergrünen diese bleichsüchtigen Sommertriebe wieder in normaler Weise[10]).

§ 5.

2. Einstellung in den Schatten anderer Organe.

a) Ältere Laubblätter als Lichtschutz.

Junge Vegetationsorgane entziehen sich häufig dadurch der Wirkung eines zu intensiven Lichtes, daß sie sich in den Schlagschatten älterer Organe derselben Art stellen. Während z. B. die im diffusen Licht lebenden krautartigen Gewächse ihre jungen Blätter direkt dem Lichte darbieten, bergen sich die jüngsten Blätter solcher Pflanzen, die in verhältnismäßig starkem Licht sich entwickelt haben, im Schatten der älteren Blätter[1]). Sehr schön ist dies z. B. bei *Lysimachia Nummularia* zu beobachten[2]). Von in den Tropen heimischen Pflanzen werden erwähnt: *Uvaria purpurea, Gossypium* und *Begonia,* wo die älteren Blätter ein schützendes Dach über den jüngeren bilden[3]). Aber auch umgekehrt kommt bei tropischen Gewächsen nicht selten der auf den ersten Blick ganz paradox erscheinende Fall vor, daß die jüngeren Blätter durch Deckung den älteren als Schutz bei der Chlorophyllbildung dienen. Dies ist dann der Fall, wenn

---

[8]) Wiesner, J., Pflanzenphysiologische Mitt. aus Buitenzorg (I. II.) Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Math.-nat. Cl. Bd. CIII., Abt. I. Wien 1894 p. 34.

[9]) Wiesner, l. c. p. 8—36.

[10]) Wiesner, Die natürl. Einricht. zum Schutze etc. l. c. p. 48.

[1]) Wiesner, l. c. p. 41.

[2]) ibid.

[3]) Potter, M. C., Observations on the protection of buds in the tropics. 1892. The Journ. of the Linn. Soc. vol. XXVIII. No. 195 Oct. 31, 1891 p. 343 bis 352.

die Chlorophyllbildung hinausgeschoben ist, die jüngsten Organe des Lichtschutzes also weniger bedürfen als die etwas älteren, im Stadium der Ergrünung begriffenen[4]).

b) Nebenblätter als Lichtschutz.

Auch die Nebenblätter sind imstande, unter Umständen einen ganz wesentlichen Schutz gegen grelle Lichtwirkung zu bieten. Dies ist der Fall z. B. bei *Humulus Lupulus,* dessen blattartig ausgebildeten, die jungen Laubblätter überragenden Nebenblätter während ihrer Funktion als Lichtdämpfer meist eine mehr oder weniger starke Zerstörung des Chlorophylls erleiden und dabei eine gelbliche oder rötliche Farbe annehmen. Werden die Nebenblätter mit der Spitze nach abwärts gekehrt und am Stamme festgebunden, so verkümmern die Laubblätter um so eher, je größer die herrschende Lichtintensität ist[5]). Bei vielen Papilionaceen, so z. B. bei *Pisum sativum,* bei *Fragaria vesca* etc. werden die nächst jüngeren Blätter von den Nebenblättern der älteren, bereits entwickelten Blätter bedeckt; bei *Pisum sativum* werden auf diese Weise sogar ganze, mit mehreren Blättern bedeckte Sprosse in den Schatten gestellt[6]). Welche hervorragende Rolle hier gerade der Lichtschutz spielt, zeigen in ähnlicher Weise wie beim Hopfen angestellte Versuche, wobei „die jüngsten, im ersten Ergrünen begriffenen Blattorgane im Sonnenlichte verkümmern, selbst wenn die Versuchspflanze in einem hell erleuchteten feuchten Raume aufgestellt wird, also die schädigende Wirkung starker Verdunstung ausgeschlossen ist“[7]).

Bei denjenigen Pflanzen, die der Nebenblätter nicht weiter bedürfen, verwelken sie und fallen ab oder verkümmern, und sie wirken nicht als Lichtdämpfer bei Pflanzen, die andere Lichtschutzmittel besitzen (z. B. Papilionaceen)[8]).

c) Blattscheiden als Lichtschutz.

An Monocotylen, bes. Gräsern, sind die chorophyllarmen Blattscheiden oft als lichtdämpfend anzusehen; erst unter dem Schutze dieser Scheiden kommen die grünen Blätter zur Entwicklung (z. B. *Phragmites communis* etc.) Werden an etiolierten Keimlingen die Scheiden entfernt und die Pflänzchen im dampfgesättigten Raum in grelles Licht gebracht, so ergrünt das erste Blatt nur schwach und erst hinter diesem entsteht ein normal ergrüntes Blatt.

d) Zusammendrängung der Vegetationsorgane zu dichten Haufen, Polstern und Rasen.

Ein Schutz gegen zu starke Insolation wird manchmal durch das Auftreten polster- und rasenförmigen Wuchses erreicht, der bei Wüstenpflanzen

---

[4]) Wiesner, Pflanzenphysiol. Mitt. l. c. p. 33.

[5]) Wiesner, Die natürl. Einricht. l. c p. 46—47.

[6]) Vgl. auch Goebel, Organographie I. (1898) p. 108—111.

[7]) Wiesner, Die natürl. Einricht. l. c. p. 47, vgl. aber auch entgegengesetzte Angaben bei Goebel, Organographie I. (1898) p. 180, 181.

[8]) Wiesner, l. c. ibid.
Hansgirg, Phyllobiologie 1903 p. 462.

(*Zilla mayagroides, Astragalus Forskalii*) häufig beobachtet[9]) und z. B. für eine große Zahl chilenischer Gewächse der verschiedensten Familien (Cruciferen, Caryophylleen, Oxalidaceen, Saxifragaceen, Ericaceen etc.) charakteristisch ist[10]). In der arktischen Flora und im Hochgebirge tritt der Polsterwuchs als Lichtschutz häufig an die Stelle anderer Schutzmittel (z. B. allseitiger Behaarung)[11]). Bei den an sonnigen Standorten vorkommenden Moosen (z. B. *Funaria hygrometrica Hedw.*) schützen sich die oberen Blätter durch dichten knospenartigen Zusammenschluß, und bei *Bryum argenteum L.* sind die oberen Blättchen ebenfalls dichter gedrängt als die unteren, in Schattenlage stehenden. Eine wesentliche Bedeutung scheint diese Art von Lichtschutz allerdings nicht zu haben, denn trotz der Zusammendrängung wird meist so wenig Chlorophyll erhalten, daß sich die Blättchen sehr schnell verfärben[12]).

Bei buschförmig wachsenden Algen dagegen, wie *Stypocaulon, Haliseris, Rytiphlaea* etc., wechselt die Dichtigkeit des Wuchses mit der veränderten Intensität der Beleuchtung innerhalb ziemlich weiter Grenzen, indem bei stärkerer Beleuchtung die im Innern verborgenen Teile begünstigt wachsen, während an den frei gelegenen Spitzen das Wachstum oft vollständig eingestellt werden kann[13]).

Zu berücksichtigen ist jedoch bei den hier angegebenen Beobachtungen an höheren Pflanzen und Moosen, daß es nicht das Licht allein, sondern eine Summe der verschiedenartigsten Ursachen sein dürfte, welche den Polsterwuchs hervorruft. So hat Grisebach[14]) den Polsterwuchs der alpinen und arktischen Gewächse zurückgeführt auf den Schneedruck, die Nötigung vegetativer Vermehrung sowie auf die Bereitstellung möglichst großer assimilierender Flächen direkt nach der Schneeschmelze; Hansen[15]) macht auf die schützende Einrichtung des Polsterwuchses gegen Winde aufmerksam, und auch unter den Schutzmitteln gegen übermäßige Transpiration wird diese Wuchsform erwähnt[16]). Diese Deutungen haben mindestens die gleiche Wahrscheinlichkeit für sich wie diejenige als Lichtschutzeinrichtung, besonders

[9]) Volkens, Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. 1887 Berlin (Gebr. Borntträger) p. 18, 42.

[10]) Reiche, K., Über polster- und deckenförmig wachsende Pflanzen. Verh. d. Deutsch. wiss. Vereins zu Santiago. Berlin (Friedländer) 1893. II. Bd. Heft 5 und 6, p. 306 ff.

[11]) Hansgirg, l. c. p. 180.

[12]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 41.

[13]) Berthold, Mitt. d. Zool. Stat. Neapel, l. c. p. 418.

[14]) Grisebach, Die Vegetation der Erde. I. Leipzig 1872 p. 15 ff., 146.

[15]) Hansen, Vegetation der ostfriesischen Inseln p. 73. Flora und Vegetation des Vogelberges von Spilger, mit Vorwort von Hansen. Giessen 1903 p. 99, 100.

[16]) Ramme, Die wichtigsten Schutzeinrichtungen der Vegetationsorgane der Pflanzen. I. und II. Teil. 1895, 1896. Progr. des Fr. Realgym. Berlin. II, p. 12, 13.

wenn man bedenkt, daß bei arktischen Gewächsen ein Übermaß an Licht deswegen nicht zu fürchten ist, weil, wie Wiesner[17]) gezeigt hat, bei niederer Lufttemperatur eine hohe Beleuchtungsintensität sogar vorteilhaft ist.

§ 6.

3. Periodische Bewegungen der Laubblätter.

Die unter der Wirkung verschiedener Lichtintensitäten von den Fiederblättchen von *Robinia Pseudacacia* ausgeführten periodischen Bewegungen sind schon sehr lange bekannt[1]), und besonders auffällig gerade an vielen Papilionaceen, Mimosaceen und Caesalpiniaceen beobachtet worden[2]). Die Fiederblättchen von *Robinia Pseudacacia* klappen nämlich im Dunkeln nach unten zusammen (Schlafstellung), stehen im diffusen Tageslicht wagerecht ausgebreitet, also in der „fixen Lichtlage“[3]), und richten sich am Tage mit steigender Lichtintensität mehr und mehr auf, bis die einfallenden Lichtstrahlen in einem mehr oder weniger spitzen Winkel gegen die Blattoberseite gerichtet sind[4]), wodurch ihre Intensität bedeutend verringert wird. Hellgrüne Robinien-Blätter, die durch Drähte künstlich in horizontaler Lage festgehalten wurden, zeigten nach vier Tagen ein deutliches Verblassen, während die sich frei bewegenden Fiederblättchen ein Verblassen nicht erkennen ließen[5]). Dieses Resultat wurde auch dann erzielt, wenn die Sonnenstrahlen nicht gegen die Oberseite, sondern gegen die Unterseite des Blattes und der Blättchen gelenkt waren[6]).

Bei *Oxalis* wird durch eine starke diffuse Beleuchtung eine Senkung der Blättchen bewirkt[7]).

Bei *Gleditschia* finden sich drei Formen von Blättern mit verschiedenem Grade von Beweglichkeit; die doppeltgefiederten an den oberen Zweigen sind am bewegungsfähigsten. Da das Zusammenfalten der Blättchen auch

---

[17]) Wiesner, J., Untersuchungen über den Lichtgenuß der Pflanzen im arktischen Gebiete. (Photometr. Unters. auf pflanzenphysiol. Gebiet., 3. Abh.) Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss. Math.-nat. Cl. Abt. I. Bd. CIX. Wien 1900 p. 371 ff.

[1]) Pfeffer, Die periodischen Bewegungen der Blattorgane. Leipzig 1875 p. 62.

[2]) Pfeffer, Pflanzenphysiol. l. c. II. p. 488 Anm. 1, vergl. auch:
Johow, F., Über die Beziehungen einiger Eigenschaften der Laubblätter zu den Standortsverhältnissen. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 1884 p. 295.
Wiesner, J., Pflanzenphysiol. Mitt. aus B. l. c. p. 24. — An den Mimosen, an Leucadendren und Bauhinien bemerkte schon Livingstone bei seinem Aufenthalte in Südafrika, daß sie an sehr heißen Tagen ihre Blätter zusammenfalteten. Geogr. Mitt. 1858 p. 199.

[3]) Wiesner versteht unter „fixer Lichtlage“ diejenige Stellung der Blätter, die sie mit ihrer Oberfläche in der Regel dem diffusen Tageslichte gegenüber einnehmen und die, für die Zwecke der Assimilation, die günstigste Beleuchtung darstellt.

[4]) Pfeffer, l. c. II. p. 695.

[5]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 46.

[6]) Pfeffer, l. c. ibid.

[7]) Pfeffer, Die periodischen Beweg. etc. l. c. p. 60.

bei sehr starker Beleuchtung im Sommer durch die direkten Sonnenstrahlen erfolgt, so dient diese Schrägstellung ebenfalls als Schutz vor zu starker Erwärmung [8]).

Eine zu den einfallenden Lichtstrahlen absolut parallele Stellung der Blattflächen ist praktisch freilich nicht möglich, da ja die Blätter keine mathematisch parallelen Blattseiten ausbilden. Die Lichtstrahlen werden daher den der Lichtquelle zugekehrten Rand des Blattes zuweilen ganz besonders treffen, und so ist auch in der Tat, besonders an *Phaseolus*-Arten, eine wahrscheinlich auf obigen Ursachen beruhende auffällige Zerstörung des Chlorophylls am Rande der Blätter wahrgenommen worden [9]).

Besonders erwähnt wird ferner die Eigenschaft erwachsener Blätter der Gattungen *Bauhinia, Schnellia, Casparea* und Verwandten, sich bei intensiver Beleuchtung um den Mittelnerven nach oben zusammenzulegen, um bei sinkender Lichtintensität sich wieder flach auszubreiten [10]).

Mit der Beleuchtungsintensität hängt zusammen, daß die Laubblätter verschiedener Papilionaceen in südlichen Ländern bedeutend ansehnlichere Bewegungen ausführen als bei uns [11]), ebenso wie viele Gramineen besonders der warmen Länder durch xerotropische Bewegungen sich der Wirkung der direkten Sonnenstrahlen entziehen [12]).

Natürlich ist nicht zu verkennen, daß durch die Stellung der bei stärkerer Beleuchtung mit den Oberseiten (*Astragalus-, Robinia*-Arten) oder Unterseiten (*Oxalis* etc.) sich berührenden Blätter auch gleichzeitig indirekt oder direkt ein Transpirationsschutz erreicht wird [13]).

Wenn aber ein solches Streben bestimmter Blätter, sich zur Einfallsrichtung des Lichtes annähernd parallel zu stellen, erst bei intensiver Beleuchtung bemerkbar wird, so ist dies jedenfalls als eine zweckentsprechende Schutzeinrichtung aufzufassen [14]).

§ 7.

4. Meridian- (Profil-) Stellung turgescenter Blätter.

Besonders bekannt als Lichtschutzeinrichtung ist die Meridianstellung der Laubblätter, die für manche Florengebiete, z. B. die Flora Australiens, so

---

[8]) Popow, L., Der physiol. Nutzen der Erscheinungen des Schlafes und des Wachens der Blätter. Reden und Protok. d. VI. Versamml. russ. Naturf. und Ärzte in St. Petersburg. 20.—30. Dez. 1879. St. Petersb. 1880 p. 31—37 (russisch). Ref. J. bot. J. Bd. 8a 1880, Ref. 64 p. 278 - 280.

[9]) Wiesner, l. c. p. 44.

[10]) Johow, F., l. c. p. 296.

[11]) Hansgirg, Photodynamische Untersuchungen. Vorl. Mitt. Österr. Bot. Ztg. XL. Jahrg., Wien 1890 p. 48—53, p. 50.

[12]) Parlatore, E., Movimenti fogliari nelle Graminacee. S. A. aus Rendiconto della R. Ac. Bologna 1894. Ref. J. bot. J. Bd. XXIIa. 1894 Ref. 110 p. 253.

[13]) Hansgirg, Phyllobiologie l. c. p. 192.

Stahl, Über die Bedeutung des Pflanzenschlafs. Vorl. Mitt. Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. XIII. 1895 p. 183.

[14]) Pfeffer, Pflanzenphysiologie II. l. c. p. 686.

charakteristisch und die Ursache der dortigen schattenlosen Wälder ist[1]). Solche Profilstellung zeigen z. B. die Phyllodien der neuholländischen Acacien und die *Eucalyptus*-Arten[2]).

„Das tropische Laubblatt" — sagt Haberlandt[3]) — „hat weit mehr (als das der gemäßigten Vegetationsgebiete) mit der direkten Insolation zu rechnen und sich vor den nachteiligen Folgen derselben zu schützen. Es nimmt gewöhnlich eine solche Stellung an, daß die Strahlen der höher stehenden Sonne unter spitzem Winkel die Blätter treffen".

Bei den sogenannten Kompaßpflanzen *Lactuca virosa, Silphium laciniatum, Lactuca Scariola*[4]) etc. wird die Meridianstellung nur durch die intensive Mittagssonne bewirkt; daher sind die Blätter nur bei solchen Exemplaren nach Nord und Süd gerichtet, die auf sonnigen, trockenen Standorten erwachsen sind, während an feuchten, schattigen Standorten vegetierende Pflanzen diese Stellung nicht zeigen[5]).

Die fixe Lichtlage der Kompaßpflanzen unterscheidet sich von derjenigen aller übrigen Gewächse dadurch, daß sie nicht durch diffuses, sondern durch direktes Sonnenlicht hervorgerufen wird[6]).

Nach dem gleichen Prinzip schützen sich die jedoch nicht als Kompaßpflanzen zu bezeichnenden Bäume des tropischen Amerika mit schräg oder vertikal gestellten Laubblättern oder steil nach oben strebendem Gezweig (z. B. die Sapoteen). Steil nach oben gerichtete Blätter haben ferner *Ravenala madagascariensis,* zahlreiche Liliaceen und Amaryllideen[7]). Bei den die Mangrove-Formation bildenden Bäumen[8]), (z. B. *Rhizophora Mangle, Avicennia nitida, Conocarpus erecta*) werden die Blätter durch Aufwärtskrümmungen vertikal orientiert. Bei einigen Gramineen *(Olyra latifolia),* Bambuseen und Aroideen (*Philodendron*-Arten etc.) ist die Spreite vertikal abwärts gekrümmt. In der westindischen Flora kommt bei den mit einer Mittelrippe versehenen Dicotylen-Blättern (z. B. bei *Bryophyllum calycinum, Vanguieria edulis, Couroupita guinensis*) die Profilstellung dadurch zustande, daß die beiden Hälften der Lamina bei den Sonnenblättern eine umgekehrt dachförmige, keilförmige Figur bilden, während die Schattenblätter flache einheitliche Scheiben zeigen[7]).

---

[1]) Vgl. Grisebach, Vegetation der Erde, II. Leipzig 1884 p. 195 ff.

[2]) Hansgirg, l. c. p. 142 ff. dauernde Profilstellung beim *Eucalyptus*- und *Iris*-Typus.

[3]) Haberlandt, G., Eine botanische Tropenreise. Leipzig 1893 p. 110, 111.

[4]) Ascherson erwähnt in seiner „Flora von Brandenburg", p. 378, daß nach Koch auch *Lactuca sativa* auf magerem Boden senkrechte Blattstellung zeigt und dann *Lactuca Scariola* sehr ähnlich sieht.

[5]) Stahl, Über sogenannte Kompaßpflanzen. Jenaische Ztschr. f. Naturwiss. 15. Bd. N. F. Bd. 8. Jena 1881 p. 381 ff. — Zusammenstell. d. Lit. über Kompaßpfl. bei Bay, Ch., Physiologische Fragmente aus Missouri. Botanical Garden, I. Kompaßpfl Botanic Gazette 1894 Bd. 19 p. 251.

[6]) Ramme, l. c. I. p. 20. [7]) Johow, l. c. p. 289—293.

[8]) Warming, Oekologie 1902 p. 315.

Aber nicht nur bei ungeteilten Blattspreiten kommen solche Schrägstellungen vor, sondern auch bei gefiederten und handförmig geteilten Blättern.

Die Fiedern sind, wie die /\-förmig gebeugten Blattfiedern der Cocos-Palme, entweder dauernd nach unten zurückgeschlagen (z. B. bei *Averrhoa Bilimbi (Oxalidaceae), Eperua falcata (Caesalpiniaceae),* und bilden wie *Pachira aquatica* bei den handförmig geteilten Blättern einen spitzen Kegel (*Jatropha incisa, Sciadophyllum*-Arten), oder sie sind wie die im Querschnitt \/-förmigen Fiedern von *Chrysodium vulgare* schräg aufgerichtet (z. B. *Bactris*-Arten und Cycadeen) und bilden bei den gefingerten Blättern, wie z. B. *Cecropia peltata,* einen mit der Spitze nach unten gerichteten Kegel *(Tecoma pentaphylla, Cleome pentaphylla)* [9]).

Dauernd herabgekrümmte und so vor intensiver Beleuchtung geschützte Spreiten besitzt z. B. *Miconia officinalis* [10]). Häufig stehen auch junge Blätter (z. B. *Nerium Oleander*) ziemlich aufrecht in der Richtung der sie tragenden Stengel; erst später bieten sie ihre Fläche den einfallenden Sonnenstrahlen dar. Ganz analog verhalten sich die rosettenförmig angeordneten Wurzelblätter, die jungen Blätter der Gräser und vieler anderer Monocotylen [11]). Der Schutz, den diese aufrechte Stellung gewährleistet, ist auch der Grund, weshalb die jungen Blätter der Licht- und Schattenpflanzen in den Tropen im Ergrünungszustand nur geringe Unterschiede zeigen [12]).

Von unseren einheimischen Pflanzen seien noch genannt: *Humulus Lupulus, Marrubium vulgare, Thesium*-Arten, *Aspidium Filix mas, Geranium sanguineum* u. a., die, wie Stahl auf den sonnigen Muschelkalkbergen Jenas zu beobachten Gelegenheit hatte, ebenfalls Vertikal- (nicht Meridian-) Stellung der Blätter zeigten. Eine Vertikalstellung der Blätter ist es auch, wenn bei *Picea excelsa* die Nadeln an hellen Standorten gleichmäßig rings herum von den Axen abstehen, im tiefen Schatten dagegen sich scheiteln. Beispiele für Wasserpflanzen, für die Stahl allerdings einen Schutz gegen zu starke Beleuchtung nicht für wesentlich hält, sind: *Alisma Plantago, Sagittaria* und die in die Luft ragenden Blätter von *Nymphaea* und *Nelumbium* [13]).

Von welchem Einfluß die Profilstellung ist, das haben experimentelle Untersuchungen [14]) an den abgeplatteten Zweigen von *Opuntia* gelehrt, die ein Maximum der Erwärmung aufwiesen, wenn sie mit der Fläche, ein Minimum, wenn sie mit der Kante der Sonne ausgesetzt waren.

---

[9]) Johow, l. c. ibid.

[10]) Hansgirg, l. c. p. 270 Fig. 37.

[11]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 44.

[12]) Wiesner, Pflanzenphysiol. Mitt. etc. l. c. p. 35.

[13]) Stahl, E., Über den Einfluß des sonnigen oder schattigen Standortes auf die Ausbildung der Laubblätter. Jenaische Ztschr. f. Naturw. 16. Bd. N. F. Bd. IX. Jena 1882 p. 187—192.

[14]) Passerini, N., Sullo sviluppo di calore in alcune piante e sulla temperatura che assumono gli organi vegetali durante la insolazione. Nuovo giornale bot. it., nuova serie Memor. dell. Soc. bot. it. Firenze VIII. 1901 p. 64—74.

§ 8.

5. Profilstellung nicht turgescenter Blätter.

Eine der merkwürdigsten Lichtschutzeinrichtungen stellt die Erscheinung dar, daß bei manchen Pflanzen feuchttropischer Gebiete die Blätter lange einen Zustand geminderten Turgors behalten und dadurch befähigt sind, vertikal herabzuhängen; das intensive Zenithlicht geht dadurch an diesen Blättern vorbei oder tritt nur sehr geschwächt in sie ein. Ein weiterer Schutz kommt häufig noch hinzu: daß nämlich die Chlorophyllbildung weit hinausgeschoben wird (z. B. *Amherstia nobilis, Cynometra, Theobroma Cacao* u. a.)[1]. An sonnigen Standorten hängen die ungeheuren Blattspreiten von *Musa paradisiaca* und *sapientum* zu beiden Seiten des Mittelnerven schlaff nach unten; im Schatten dagegen sind sie straff ausgebreitet[2]. Einige *Anthurium*-Arten endlich, *Platycerium* u. a. verharren mit ihren Blattspreiten zeitlebens in der Hängelage[3].

Aber nicht nur Blätter, sondern ganze Zweige bleiben oft lange Zeit turgorlos und hängen dann senkrecht herab[4]; die jungen Triebe und Blätter der Caesalpiniaceen, die nach Keeble sämtlich schattenliebend sind, schützen sich so gegen direktes Sonnenlicht und gegen zu starke Transpiration[5]. Dagegen kommt Stahl[6], im Gegensatz zu Keeble, zu dem Schluß, daß die Hängelage junger Blätter lediglich eine Anpassung an starke Regengüsse sei, die in den Tropen fast immer senkrecht niedergingen und so die in gleicher Richtung hängenden jungen Blätter durch Zerreißung wenig gefährden könnten[7].

Von bei uns vorkommenden Pflanzen seien noch genannt: *Aesculus Hippocastanum,* mit in der Jugend herabhängenden Blättchen und die an die oben erwähnten Hängezweige erinnernden jungen, herabgekrümmten Triebe von *Corylus avellana* und *Tilia parvifolia*[8].

§ 9.

6. Einrollung, Faltung und Runzelung der Blätter.

Unter dem Einfluß einer starken, grellen Beleuchtung rollen sich bei vielen Pflanzen die Blattränder derart ein, daß sich die dichtbehaarte Unterseite

---

[1]) Wiesner, Pflanzenphysiol. Mitt. aus B. etc. l. c. p. 25—30, vgl. auch Wiesner, Beobachtungen über Einrichtungen zum Schutze d. Chlorophylls tropischer Gewächse. Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss. Math. nat. Cl. Abt. I. Bd. CIII. 1894 p. 22—36.

[2]) Johow, l. c. p. 293. — Es sei hier auch hingewiesen auf den *Mangifera*-Typus der Hängeblätter: Hansgirg, l. c. p. 130, vgl. auch Stahl, E., Regenfall und Blattgestalt. Ein Beitrag zur Pflanzenbiologie. Ann. du Jardin Bot. de Buitenzorg. Vol. XI. 1893 p. 142—144.

[3]) Stahl, l. c. p. 150—151. [4]) ibid. p. 144 ff.

[5]) Keeble, F. W., The hanging foliage of certain tropical trees. Ann. of Bot. IX. 1895 p. 59—93.

[6]) Stahl, l. c. p. 149. [7]) ibid. p. 150.

[8]) Stahl, l. c. p. 145.

nach oben wendet und die meist kahle oder schwach behaarte Oberseite dadurch gut geschützt wird. Einige Leguminosen (z. B. *Coclidium*-Arten) mit durch Aufrollung des Randes oberseits konkaven Blättern schützen so durch eine Torsion um die Längsachse die Oberseite fast ganz vor direkter Insolation; das gleiche gilt von vielen anderen Blättern des sogenannten Rollblätter-Typus [1]). Natürlich dient dieses Verhalten der Blätter vor allem auch zur Regulierung der Transpiration, wie denn überhaupt Licht- und Transpirationsschutz meist schwer voneinander zu trennen sind [2]).

Die jungen, vertikal herabhängenden Blätter von *Bauhinia Vahlii* scheinen infolge eines am Blattrande befindlichen Haarwulstes wie zu einem Sacke verwachsen zu sein; durch diese dichte Verbindung der Blatthälften kann kein Licht auf die Oberseite des Blattes gelangen; die dem Licht ausgesetzten Unterseiten aber sind mit einem als Lichtdämpfer wirkenden Haarüberzug versehen. Ein anderes Beispiel für ähnliches Verhalten ist *Amherstia,* wo die Blatthälften infolge Adhäsion aneinander haften [3]).

Von Pflanzen mit muldenförmig ausgebildeten Sonnenblättern seien genannt die Euphorbiaceen *Hura crepitans* und *Jatropha Curcas;* liegt dagegen die Insertionsstelle an einem mittleren Punkte der Lamina, ist also strahlige Nervatur vorhanden, so stellen häufig die Sonnenblätter einen nach oben erweiterten Trichter dar (z. B. die Begonien). Bei Blättern mit regelmäßig fiederförmiger Nervatur ist die von zwei Seitennerven eingeschlossene Blattsubstanz bei Sonnenblättern nach oben konvex gewölbt, bei Schattenblättern straff ausgespannt (z. B. *Psidium Guava, Hamelia patens, Anacardium occidentale*) [4]).

Auch junge Blätter schützen ihr Chlorophyll vor starkem Lichteinfluß durch verschiedenartige Faltung und Einrollung (z. B. *Hieracium pilosella, Maranta*) [5]).

Von Wasserpflanzen erwähne ich nur *Salvinia auriculata* mit kahnförmigen Schwimmblättern als Schutz vor zu starker Beleuchtung [6]).

Lichtschutz wird auch bisweilen dadurch erzielt, daß das Blatt in parallele Falten gelegt wird, wie dies bei einigen breitblättrigen Gramineen recht auffällig hervortritt: die Querschnittsfigur des Blattes von *Panicum sulcatum* ist an sonnigen Standorten eine steil gebrochene Linie [/\/\/\/\], im tiefen Schatten eine annähernde gerade [~~~~~]. Die Fächerpalmen entfalten ihre Fächerblätter weit geringer im direkten Sonnenlicht als im Schatten [4]).

---

[1]) Hansgirg, l. c. p. 162, 163.

[2]) Schimper, A. F. W., Über Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration, besonders in der Flora Javas. Sitzber. d. Königl. preuß. Akad. d. Wiss. Berlin 1890 p. 1062.

[3]) Wiesner, Pflanzenphysiol. Mitt. aus B. l. c. p. 29.

[4]) Johow, l. c. p. 292—294.

[5]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 43.

[6]) Goebel, K., Organographie der Pflanzen. Jena (G. Fischer) 1898—1901 p. 541, vgl. daselbst auch Fig. 354.

Durch die Beugungen und Faltungen einzelner Areale der grünen Blattspreiten wird also dasselbe wie durch die Profilstellung der ganzen Blattflächen erreicht. Es sei darum zum Schluß der *Salvia*-Typus der Runzelblätter erwähnt:

Infolge der Runzelung der Blattfläche wird das direkte Sonnenlicht teils zurückgeworfen, teils gebrochen. *Salvia*-Arten schattiger oder feuchter Standorte besitzen fast glatte oder sehr schwach runzelige Schattenblätter [7]).

Ganz außerordentlich gekräuselte, runzelige Blätter weisen *Heliotropium indicum* und *Stachytarpha cayennensis* auf, zwei gemeine Unkräuter an dürren und beständig besonnten Standorten auf Dominica [8]).

Andererseits wurde von Stahl [9]) darauf aufmerksam gemacht, daß eine durch Unebenheiten bedingte matte Oberflächenbeschaffenheit für die Absorption der diffusen Strahlung sehr geeignet sein kann. Das über die Blattaderung emporgehobene Assimilationsparenchym nützt auch die schief zur Blattfläche einfallenden Strahlen aus. Bei *Begonia imperialis* z. B. drängt sich das grüne Gewebe über die Ebene der Spreite empor und ermöglicht so eine Ausnützung des seitlich einfallenden Lichtes, wie sie bei ebenflächigen Spreiten ausgeschlossen ist.

§ 10.

7. Entwickelung einer glänzenden Oberfläche.

„Das milde, durchscheinende Licht, welches unsere heimischen Bäume und Sträucher häufig so reizvoll erscheinen läßt", gibt uns keine rechte Vorstellung von der außerordentlichen Bedeutung glänzender Blattoberflächen. In den Tropen dagegen sind die das intensive Sonnenlicht reflektierenden Blätter, die dadurch aussehen, als wären sie „aus grünlackiertem Blech" hergestellt, sehr häufig. „Die zahllosen Glanzlichter, welche das (tropische) Laubwerk widerstrahlt, blitzen auf dem dunklen Untergrunde um so heller auf; dieser starke Konstrast hat nicht selten für das an die sanften Helligkeitsabstufungen unserer heimischen Belaubung gewöhnte Auge etwas Beleidigendes; es erschwert dem Landschaftsmaler seine Aufgabe und bringt den Photographen in Verzweiflung [1])."

Viele ausdauernde Blätter sind daher mit einer stark glänzenden Oberhaut versehen, wie z. B. die sog. Lederblätter [2]), deren Chlorophyll dem Lichte mehrere Vegetationsperioden hindurch ausgesetzt ist. Dem Mangel

[7]) Hansgirg, l. c. p. 170, 171.

[8]) Johow, l. c. p. 292—294.

[9]) Stahl, Über bunte Laubblätter. Ein Beitrag zur Pflanzenbiol. II. 1896. Extr. des Ann. du Jard. Bot. de Buitenzorg. Vol. XIII. 2., p. 137—216; p. 208.

[1]) Haberlandt, G., Eine botanische Tropenreise. Leipzig (Engelmann) 1893 p. 105.

[2]) Hansgirg, l. c. p. 134.

einer als Lichtreflektor wirkenden Cuticularschicht ist es vielleicht auch zuzuschreiben, daß die jungen Nadeln vieler Koniferen an sonnigen Standorten oft schwer ergrünen[3]).

Die Wirkung solcher glänzenden Culicularschichten kann noch verstärkt werden durch die meist aus einem Gemenge von Schleim und Harz bestehenden, firnisartigen Überzüge auf der Blattoberseite. Volkens[4]), der die Bedeutung der das Licht stark reflektierenden Lackierung[5]) allerdings nur in einer Einschränkung der Transpiration sieht, führt zahlreiche Beispiele von Xerophyten und Wüstenpflanzen aus den verschiedensten Familien an. Die Laubblätter besonders vieler Kompositen sind durch eine die Licht- und Wärmestrahlen reflektierende glänzende Firnisdecke vor intensiver Insolation geschützt[6]). Hingewiesen sei ferner auf den *Escallonia*-Typus der lackierten Blätter[7]).

Interessant ist es, daß oft ein Schutzmittel das andere mehr oder weniger entbehrlich macht; so konnte Arcangeli[8]) beobachten, daß *Larrea divaricata* Cav. in weit schwächerem Grade eine Kompaßpflanze ist als *Larrea cuneifolia* Cav.; *Larrea divaricata* Cav. hatte nämlich lackierte Blätter.

Weitere interessante Einrichtungen, die sich auf den Lichtschutz chlorophyllführender Organe beziehen, beschreibt Hassak[9]), der die silberweiße, oft von hellem, metallischem Glanz begleitete Färbung vieler Blätter, die nicht chlorotisch sind, sondern in ihrem Assimilationsgewebe überall reichlich Chlorophyll enthalten, als Folge einer totalen Reflexion des Lichtes an ausgedehnten flachen Lufträumen nachweist, welche sich zwischen der farblosen Epidermis und den grünen Gewebeschichten parallel zur Oberfläche erstrecken.

Gleichfalls müssen erwähnt werden Untersuchungen von Lanza[10]), die sich auf fleischige Xerophyten aus der Gruppe der Aloineen beziehen. Hier werden weißlich glänzende, stark hervortretende Emergenzen (z. B. bei *Haworthia* und *Gasteria*), sowie durchscheinende, leistenartige Blattränder vieler *Aloe*-Arten als Lichtschutzeinrichtungen gedeutet. Ihre weiße Farbe und ihr Glanz reflektieren die Sonnenstrahlen, während die Luft im Innern

---

[3]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 42.

[4]) Volkens, G., Über Pflanzen mit lackierten Blättern. Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1890, Bd. VIII. p. 120—140.

[5]) Linsbauer, l. c. p. 86.

[6]) Hansgirg, l. c. p. 302, 303 ff.

[7]) Hansgirg, l. c. p. 174, 175.

[8]) Arcangeli, G., Sopra alcune piante della Republica Argentina. Bulletino della Soc. bot. italiana. Firenze 1894 p. 39, 40.

[9]) Hassak, C., Untersuchungen über den anatomischen Bau bunter Laubblätter, nebst einigen Bemerkungen, betreffend die physiol. Bedeutung der Buntfärb. derselben. Bot. C. 1886, Bd. XXVIII. No. 42—52, p. 245, 340.

[10]) Lanza, D., La struttura delle foglie nelle Aloinee ed i suoi rapporti con la sistematica. Malpighia, Genova IV. 1890, p. 145—167, Ref. Journ. de Bot. 1890, p. LXXIII—LXXV.

der Intercellularräume die Wärmewirkung schwächt. Durch Kulturversuche hat Lanza nachgewiesen, daß diese Bildungen als Anpassungen an die intensive Insolation angesehen werden müssen.

§ 11.

8. Dichte Haarbekleidung.

Als erster hat Wiesner[1]) darauf hingewiesen, daß der auf der Oberseite junger Blätter von *Tussilago Farfara* auftretende Haarfilz als Lichtdämpfer wirkt; wird der Haarüberzug entfernt, so erblassen die Blätter im Sonnenlicht merklich, auch wenn durch einen Glassturz die Transpiration eingeschränkt wird. Nach der vollen Entwicklung der Blätter wird später die Haarbedeckung abgeworfen. Die wolligen und ähnlichen Deckhaarüberzüge[2]) der Laubblätter übernehmen häufig die Rolle von Sonnenschirmen und Lichtdämpfern, auch Transpirationsregulatoren und finden sich deshalb am häufigsten in den der Trockenheit und Sonnenglut zeitweise stark ausgesetzten Gebieten[3]).

Natürlich ist die dichte Haarbekleidung auch ganz besonders gut dazu geeignet, die in heißen Gebieten (z. B. im kontinentalen Australien) bisweilen ganz bedeutenden Temperaturschwankungen (zwischen 4° und 43° C) zu mäßigen[4]). Besonders reich an Pflanzen mit dicht behaarten Blättern ist die Flora des Mittelländischen Meeres; die grauweiße filzige Behaarung ist hier so allgemein verbreitet, daß sie dem ganzen Vegetationsbilde einen eigenartigen, fast monotonen Charakter verleiht[5]). Daß die Haarbedeckung „sicher weitaus den größten Teil des auffallenden Lichtes“ reflektiert, darauf weist auch Reinke[6]) bei der Besprechung über die natürliche Farbe grüner Blätter hin.

Bei einer überaus großen Zahl von Pflanzen sind die sich entfaltenden Laubblätter bloß in der Jugend behaart resp. durch einen Lichtschirm gegen schädliche Insolation geschützt[7]). So wird auch der durch den knospenartigen Zusammenschluß dicht geschlossene Trichomschopf der jungen Farnwedel als eine Lichtschutzeinrichtung aufgefaßt[8]). Selbst Blätter, bei denen

---

[1]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 42.

[2]) Vgl. Hansgirg, l. c. p. 179.

[3]) Meigen, Fr., Biologische Beobachtungen aus d. Flora Santiagos in Chile. Trockenschutzeinrichtungen. Engl. bot. Jahrb. 18. Bd. 1894 p. 410.

[4]) Tschirch, Über einige Beziehungen des anatomischen Baues der Assimilationsorgane zu Klima und Standort. Linnaea N. F. Bd. IX. Berlin 1880—82 p. 152, 153; vgl. auch Ursprung, l. c. p. 112.

[5]) Ramme, l. c. I. p. 12.

[6]) Reinke, J., Die optischen Eigenschaften der grünen Gewebe und ihre Beziehungen zur Assimilation des Kohlenstoffs. Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. 1. 1883 p. 412.

[7]) Hansgirg, l. c. p. 178.

[8]) Goebeler, E., Die Schutzvorrichtungen am Stammscheitel der Farne. Flora oder allg. bot. Ztg. Regensburg 1886 No. 29—31. 69. Jahrg. p. 496.

kein besonderes Bedürfnis nach Schutz gegen Verdunstung vorhanden ist[9]), sind bisweilen durch dichte Behaarung vor intensiver Insolation gut geschützt, (z. B. *Salvinia oblongifolia* und *Salvinia Sprucei*)[10]). Auf die Bedeutung der haarartigen Organe bei Meeresalgen als Schutzeinrichtung gegen hohe Lichtintensität hat Berthold zuerst hingewiesen[11]); die Ausbildung der Haare ist hier vom Licht direkt abhängig[12]). Im übrigen kommen auch den Haarbildungen mehrere biologische Funktionen zu, die sämtlich anzuführen hier nicht der Ort ist[13]).

§ 12.

9. Ausbildung cuticularer Wachsschichten.

Die epidermalen Wachsbedeckungen an Vegetationsorganen können aus Körnchen (z. B. Gramineen, Liliaceen, Iridaceen), Stäbchen (z. B. *Saccharum officinarum, Musa, Strelitzia*) oder aus Krusten (*Thuja, Sempervivum*) bestehen[1]) und wirken genau wie die Haarbedeckungen auch als Lichtdämpfer oder Reflektoren[2]). In der ägyptisch-arabischen Wüste, von deren Klima Volkens sagt: „Bei dem fast wolkenlosen Himmel umflutet uns beständig eine Lichtfülle, welche das Auge blendet; alles scheint in einem Meer von Licht zu schwimmen", fanden sich dementsprechend auch an den Vegetationsorganen „fast durchgehends fahle grau-weißliche, durch Wachs- oder Haarbedeckung hervorgerufene Farbentöne[3])".

Häufig befindet sich bei bereiften, mit dünnen Wachsüberzügen versehenen Blättern die Blattspreite auch noch in der vertikalen Stellung (z. B. *Solanum glaucum, Nicotiana glauca, Lycium*-Arten, *Grabowskia boerhaviaefolia* u. a.)[4]). Bemerkenswert ist auch, daß die horizontalen Blätter von *Eucalyptus globulus* mit Wachs bedeckt, die älteren vertikal gestellten wachsfrei sind[5]). Jedenfalls dürften auch dünne Wachsschichten (z. B. *Cerinthe, Salix*-Arten etc.) und temporär auftretende papillöse Überzüge (z. B. *Chenopodium*) lichtdämpfend wirken[6]).

Wachsüberzüge in Verbindung mit anderen zum Teil bereits besprochenen Schutzeinrichtungen sind außerordentlich zahlreich und häufig beobachtet worden. Über die weitere mannigfaltige Bedeutung der Wachsüberzüge vgl. Hansgirg (*Hoya*-Typus der Wachsblätter)[7]).

---

[9]) Hansgirg, l. c. p. 81. [10]) Hansgirg, l. c. p. 74.
[11]) Berthold, G., Beiträge zur Morphol. etc. l. c. Pringsh. Jahrb. 1882 p. 675 ff.
[12]) Berthold, G., Mitt. d. zool. Stat. I. c. p. 419, 420.
[13]) Hansgirg, l. c. p. 39 ff. 179.

[1]) Ramme, l. c. II. p. 11. [2]) Reinke, l. c. p. 410.
[3]) Volkens, l. c. p. 15, 18. [4]) Hansgirg, l. c. p. 317.
[5]) Briosi, G., Intorno all' anatomia delle foglie dell' Eucalyptus globulus Lab. Atti dell' Istit. botan. dell' Univ. di Pavia, II. 2. Milano 1891 Ref. in Bot. C. XLIX. 1892 p. 317—320.
[6]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 43.
[7]) Hansgirg, l. c. p. 175 ff.

§ 13.

10. Krystallinische, salzkrustenbildende Überzüge und Kalkablagerungen.

Salzkrustenbildende Überzüge sind auf den Blättern von Pflanzen im allgemeinen nicht häufig (*Reaumuria hirtella, Statice aphylla, Cressa cretica, Tamarix*-Arten, *Frankenia pulverulenta* u. a.)[1]. Besonders auffällig sind diese Überzüge bei *Reaumuria hirtella*, wo sie eine körnige, weißliche, aus Chlornatrium, Magnesium- und Calcium-Verbindungen bestehende Bedeckung bilden[2]. Der *Reaumuria hirtella* nahe verwandt ist *Tamarix articulata* Vahl., eine Pflanze, die nur in der Nähe der Flüsse vorkommt: „Das Gebüsch (dieser *Tamarix articulata* Vahl.) glänzt in der Sonne wie der weiße Sand“[3].

Die Salzkruste verringert durch die weiße Farbe die Insolationswirkung; sie bildet einen schlechten Wärmeleiter[4]. Nach Volkens[5]) ist allerdings die Schutzvorrichtung in Form der Salzdecke höchst unrationell, da das Salz ungleich aufliegt und lockere Massen bildet. Die hauptsächlichste Bedeutung dürfte natürlich in der durch die hygroskopischen Salze ziemlich ansehnlichen Ansammlung atmosphärischen Wassers liegen, das, wie Volkens[6]) bestätigt, von den Pflanzen tatsächlich verbraucht wird.

Eine bei Algen sehr verbreitete Lichtschutzeinrichtung ist die Ablagerung von kohlensaurem Kalk auf der Oberfläche der Thallome oder auch innerhalb der Membranen selbst[7]). Die Kalkmassen stehen in unmittelbarer Beziehung zur Beleuchtungsintensität, d. h. die Menge des abgelagerten Kalkes wächst mit der Stärke der Beleuchtung (z. B. *Corallina mediterranea, C. rubens, Acetabularia, Padina*); auch sind die im intensiven Lichte vegetierenden Exemplare rein weiß gefärbt, während im Schatten die *Corallina*-Arten wieder rot werden und *Padina* und *Acetabularia* nur äußerst wenig Kalk ablagern[8]).

§ 14.

11. Anatomische Struktur der Sonnenblätter.

Die Palisadenzellen stellen die für starkes Licht, die flachen Zellen des Schwammparenchyms dagegen die für geringe Lichtintensitäten angemessene

---

[1]) Volkens, Die Flora der ägyptisch. etc. l. c. p. 30.

[2]) Volkens, l. c. p. 27, 28.

[3]) ibid. p. 320.

[4]) Marloth, R., Zur Bedeutung der salzabscheidenden Drüsen der Tamariscineen. Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. V. 1887 p. 322.

[5]) Volkens, G., Zu Marloths Aufsatz „Über die Bedeutung der salzabscheidenden Drüsen der Tamariscineen“. Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. V. 1887 p. 436.

[6]) Volkens, G., Die Flora der ägyptisch-arab. etc. l. c. p. 29.

[7]) Berthold, Pringsh. Jahrb. l. c. p. 710.

[8]) ibid. Mitt. d. zool. Stat. Neapel l. c. p. 418, 419.

Zellform dar[1]). Das typische Beispiel hierfür ist *Fagus silvatica,* die Buche, deren Sonnenblätter dreimal dicker sein können als die Schattenblätter[2]). Die Schattenblätter sind jedenfalls in den meisten Fällen durchsichtiger als die zugehörigen Sonnenblätter[3]), wodurch das Grundgewebe dem Lichte besser zugänglich gemacht wird[4]); die dickeren Sonnenblätter aber besitzen überdies noch die bereits erörterte, für intensives Licht vorteilhafte Einrichtung, daß durch ihre Palisadenzellen die Chlorophyllkörner dauernd in Profilstellung gebracht werden[5]). Bei vertikal stehenden Blättern tritt das Palisadenparenchym auf beiden Seiten des Blattes auf, bei horizontal stehenden nur oberseits[6]). Die Kompaßpflanze *Lactuca Scariola* bildet im Dunkeln kein Palisadenparenchym[7]). — Unter den Tropenpflanzen fand Johow[8]) Sonnen- und Schattenblätter in besonders typischer und prägnanter Ausbildung; auch konnte er in einigen Fällen, z. B. bei den steil aufwärts gerichteten Blättern von *Bromelia karatas,* die Entdeckung Picks bestätigen, daß bei vertikal oder schräg gestellten Assimilationsorganen die Palisadenzellen mit der Längsachse in der Richtung des einfallenden Lichtes, also schräg gegen die Oberfläche des Organs gestellt sind[8]). Stärkere Ausbildung des Palisadengewebes und Hypoderms zeigen auch die südeuropäischen Tannenformen (z. B. *Abies Pinsapo*) als Anpassung an ihre sonnigere trockenere Heimat[9]).

Auf den Unterschied der Sonnen- und Schattenblätter bei Farnen, denen im allgemeinen nur typisches Schwammparenchym zukommt, hat zuerst Petersohn[10]) aufmerksam gemacht; *Platycerium alcicorne, Aspidium septentrionale*[11]) und *Chrysodium vulgare* auf Trinidad zeigten an sonnigen Standorten ein deutliches Palisadengewebe entwickelt[12]).

---

[1]) Stahl, E., Über den Einfluß der Lichtintensität auf Struktur u. Anordn. etc. l. c. Bot. Ztg. 1880 p. 871; vgl. auch:
Stahl, E., Über den Einfluß des sonnigen etc. l. c. p. 171.

[2]) Stahl, E., Über den Einfluß des sonnigen oder schattigen etc. l. c. Jenaische Ztschr. 1882 p. 167, 168, Abbild. Taf. X Fig. 1 u. 2; vgl. auch: Über den Einfl. der Lichtintensit. auf Struktur etc. l. c. Bot. Ztg. 1880 p. 872.

[3]) Linsbauer, l. c. p. 67 ff.

[4]) Areschoug, F. W. C., Über die physiologischen Leistungen und die Entwicklung des Grundgewebes des Blattes. Acta Universitatis Lundensis. Lunds Univ. Arsskrift. Tom. XXXIII. Lund 1897 p. 9.

[5]) l. c. p. 10.

[6]) Grosglick, S., Über den Einfluß des Lichtes auf die Entwicklung des Assimilationsgewebes. Bot. Zentralbl. No. 51, 1884 XX. Bd. p. 377.

[7]) Stahl, Jenaische Ztschr. 1882 l. c. p. 170.

[8]) Johow, l. c. p. 298.

[9]) Stahl, l. c. p. 191.

[10]) Petersohn, Undersökning one de inhemska ormbunkarnes bladbyggnad. Akad. Diss. Lund 1889 p. 15—18.

[11]) Areschoug, F. W. C., l. c. p. 10.

[12]) Johow, l. c. p. 298.

Der Dimorphismus der *Eucalyptus*blätter ist mehrfach untersucht worden[13]), und auf die Sonnen- und Schattenformen der Flechten und Moose hat besonders Stahl[14]) hingewiesen. Von *Imbricaria physodes* z. B. sagt Stahl: „Die gedrungen wachsenden Thalluslappen der Sonnenform sind schmäler, ihre Oberfläche glatter und glänzender als bei den mehr ausgebreiteten, dem Substrat flach angeschmiegten Lacinien der Schattenform. An sonnigen Standorten fand ich das Laub etwa doppelt so dick als bei den Schattenexemplaren"; ebenso war das Laub von Lebermoosen, z. B. *Marchantia polymorpha*, bei der Schattenform viel dünner als bei Pflanzen, die mehr in der Sonne gewachsen waren[15]).

Unter den Algen zeigen z. B. die Thallome der Chylocladien je nach der Intensität der Beleuchtung einen verschiedenen Bau. An den frei exponierten Trieben (z. B. *Chylocladia kaliformis*) sind die großen inneren Zellen auf der Aussenseite fast vollständig von kleineren Tochterzellen bedeckt, während bei den inneren Trieben diese Tochterzellen nur in geringerer Zahl ausgebildet sind; der größte Teil der inneren Zellen ist vielmehr direkt dem Lichte ausgesetzt[16]). Stärker beleuchtete Teile und die Oberseite kriechender Achsen sind dicker und zeigen ihre pheripherischen Zellen mehr in Profilstellung und gegen die Oberfläche verlängert; die Unterseiten resp. schwächer beleuchtete Teile besitzen parallel der Oberfläche vergrößerte Zellen[17]).

Wie andere zum Teil bereits besprochene Schutzeinrichtungen sind auch die Palisadenzellen der Sonnenblätter nicht nur als eine Anpassung an die Beleuchtung gedeutet worden, sondern auch als ein Mittel, die Transpiration herabzusetzen[18]), resp. als ein Ausgleich gegen die Folgen starker Transpiration, da die langgestreckte Gestalt der Palisadenzellen für rasche Wasserversorgung sehr geeignet ist[19]). Ganz abgesehen von der Beleuchtung fand Schimper[20]) eine starke Entwicklung des Palisadenparenchyms bei er-

---

[13]) Magnus, P., Über Eucalyptus globulus. XXIX. Sitz. v. 17. XII. 1875. Verh. des bot. Vereins der Prov. Brandenburg. 18. Jahrg. Berlin 1876, Sitzber. p. 20 ff.

Leclerc du Sablon, Sur la symétrie foliaire chez les Eucalyptus et quelques autres plantes. Revue générale de Bot. 2. 1890 p. 337—340.

Briosi, G., Ricerche intorno all' anatomia delle foglie dell' Eucalyptus globulus Lab. Milano 1891. Ref. Bot. C. XLIX. Bd. 1892. 13. Jahrg. p. 317—320 u. a.

[14]) Stahl, E., Jenaische Zeitschr. 16. Bd. 1882 l. c. p. 186.

[15]) ibid. p. 172—173.

[16]) Berthold, Pringsh. Jahrb. l. c. p. 690.

[17]) ibid. Mitt. d. zool. Stat. l. c. p. 418.

[18]) Areschoug, l. c. p. 14—18; vgl. auch: Areschoug, Der Einfluß des Klimas auf die innere Organisation der Pflanzen. Engl. bot. Jahrb. II. 1882 p. 520.

[19]) Schimper, A. F. W., Über Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration bes. in der Flora Javas. Sitzber. d. königl. preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin. Jahrg. 1890. XXXIX. XL. p. 1048.

[20]) Schimper, l. c. p. 1060, 1061.

schwerter Wasserversorgung als Regel bei Blättern vieler, im Schatten wachsender, immergrüner Gewächse (z. B. *Vaccinium Vitis idaea*)[21]).

Zum Schluß sei noch erwähnt, daß Heinricher[22]) und Volkens[23]), der unter den Pflanzen der ägyptisch-arabischen Wüste „fast ausnahmslos" den isolateralen Blattbau fand, die Ansicht vertreten, daß die Palisadenzellen resp. isolateraler Blattbau und Vertikalstellung ein Mittel sind, „die Energie des Sonnenlichtes zum Zwecke der Assimilation in bestmöglichster Weise auszunützen", obgleich Volkens selbst an anderer Stelle wieder behauptet, daß „die Lichtstärke in der Wüste enorm groß" sei[24]).

§ 15.

12. Farbstoff.

Ich kann es hier nicht unternehmen, mich in eine Diskussion der außerordentlich umfangreichen Litteratur über Vorkommen, Entstehung und die Ansichten über die Bedeutung des roten Farbstoffes als Lichtschutz einzulassen. Ich verweise deshalb auf die Besprechung, die Ursprung[1]) dem roten Farbstoff widmet und auf die daselbst angeführte einschlägige Literatur.

Im großen und ganzen herrschen zwei extreme Ansichten über die Bedeutung des roten Farbstoffes: einmal wird er (von Ewart, Hassak, Keeble, Kerner, Pick u. a.) als ein Schutzmittel gegen die schädliche Wirkung des Lichtes angesehen; nach den Untersuchungen anderer Forscher (Stahl, Kny u. a.) dagegen gilt er als ein strahlenabsorbierendes Mittel, das, gerade im Gegensatz zu der ersten Ansicht, eine stärkere Erwärmung der den roten Farbstoff führenden Pflanzenorgane herbeiführen soll. Trotz dieser diametral gegenüberstehenden Meinungen ist eine Verständigung jedoch möglich, wenn man nicht, wie bisher, die an bestimmten Untersuchungsobjekten gewonnenen Resultate verallgemeinern, sondern auf die Spezialfälle beschränken wollte. Dazu rät auch folgende Überlegung: „Ein rein rotes Blatt läßt nur die roten Strahlen, ein rein grünes Blatt nur die grünen Strahlen durch. Da die roten Strahlen mehr Wärme führen als die grünen, so wird auch unter sonst gleichen Bedingungen das rote Blatt weniger stark erwärmt als das grüne. In der Natur finden sich nun weder rein rote noch rein grüne Blätter. Führt also ein rotes Blatt außer dem bei einem grünen Blatt vorhandenen Chlorophyllgehalt noch viel roten Farbstoff, so steigt die Absorption der Strahlen um den Betrag, den das Erythrophyll verschluckt, und das rote Blatt wird stärker erwärmt. Es kommt daher bloß auf das Mengenverhältnis der beiden Farbstoffe an, so daß das rote Blatt sowohl eine höhere als auch geringere Temperatur aufweisen kann" [2]).

---

[21]) Stahl, E., Jenaische Ztschr. 1882 l. c. p. 169.

[22]) Heinricher, Über isolateralen Blattbau. Pringsh. Jahrb. Bd. XV.; vgl. Volkens, Die Flora der etc. l. c. p. 68.

[23]) Volkens, Die Flora des etc. l. c. p. 68, 69. [24]) ibid. p. 15.

[1]) Ursprung, l. c. p. 79—83, 104.

[2]) Ursprung, l. c. p. 81, 82, 112.

§ 16.

13. Panachierte Blätter.

Die an panachierten Blättern auftretende Hellfleckigkeit der von den Gärtnern als „formae foliis variegatis“ bezeichneten Varietäten, die manchmal durch, gewöhnlich zwischen Epidermis und oberste Parenchymlage eingeschobene, Lufträume entsteht[1]), ist bezüglich ihres Verhaltens zu den Lichtstrahlen mehrfach untersucht worden. Nach Stahl[2]) reflektieren die als Isolatoren wirkenden Luftschichten das Licht und erschweren sowohl das Eindringen der Sonnenstrahlen ins Blattinnere als das Austreten der Wärme aus dem Blatt; bei den Wüstenpflanzen sei besonders das erschwerte Eindringen der Sonnenstrahlen in das Innere des Blattes von Wichtigkeit. Die Bezeichnung der Luftschichten als Isolatoren kritisiert jedoch Ursprung[3]), da die Luft zwar für Wärmeleitung, nicht aber für Wärmestrahlen ein Isolator sei; eine Luftschicht verhindere die Erwärmung der darunter liegenden Teile nicht, ja, die Erwärmung sei sogar stärker, als wenn anstelle der Luft Blattzellen vorhanden wären. Die geringere Erwärmung der hellen Stellen sei wahrscheinlich auf ihre größere Diathermansie oder auf Totalreflektion zurückzuführen. Durch Versuche von Mayer[4]), Linsbauer[5]), Ursprung[6]), Brown und Escombe[7]) ist denn auch gezeigt worden, daß tatsächlich die hellen Stellen jedesmal mehr Energie hindurchließen als die entsprechenden grünen. Daß die Panachierung, soweit sie nicht krankhaft ist, als Lichtschutz aufgefaßt werden kann, darf durch obige Versuche natürlich nicht als widerlegt gelten, doch ist auch der positive Beweis in dieser Beziehung noch zu führen.

§ 17.

14. Zellinhaltsbestandteile.

Verschiedene Algen schützen sich durch besondere Vorrichtungen im Protoplasma der einzelnen Zellen gegen übermäßige Lichtwirkungen[1]). Den interessantesten und von allen am vollkommensten ausgebildeten derartigen Apparat besitzen viele Cystosiren und mehrere Algen der Gattung *Chylocladia*. Diese Algen glänzen im lebenden Zustand in den brillantesten Farben: prachtvoll blau, silberweiß, rötlichweiß, während *Chylocladia mediterranea*

---

[1]) Hassak, Carl, Untersuchungen über den anatomischen Bau bunter Laubblätter, nebst einigen Bemerkungen, betreffend die physiologische Bedeutung der Buntfärbung derselben. Bot. Zentralbl. Bd. XXVIII. 1886 p. 13.

[2]) Stahl, Über bunte Laubblätter, l. c. p. 189—199, 209.

[3]) Ursprung, l. c. p. 84, 112.

[4]) Mayer, The radiation and absorption of heat by leaves. American Journal. 3. Series 45, 1893 p. 67.

[5]) Linsbauer, l. c. p. 71—79.

[6]) Ursprung, l. c. p. 62, 67, 112.

[7]) Brown and Escombe, l. c. p. 96.

[1]) Berthold, Beiträge zur Morphol. etc. Pringsh. Jahrb. l. c. p. 685 ff.

J. Ag. das Licht in allen Regenbogenfarben zurückwirft. Es sind besondere Ablagerungen innerhalb der Zellen selber, oft von kompliziertem Bau, denen die Fähigkeit zukommt, das Licht zurückzuwerfen und die in der Mehrzahl der Fälle nur an denjenigen Teilen der Thallome zur Ausbildung gelangen, die intensiverer Beleuchtung ausgesetzt sind[2]). Im Schatten des Zimmers verschwindet das Irisieren schon nach zwei bis drei Tagen. — Versuche mit farbigen Glasplatten ergaben mit voller Sicherheit, daß nur Licht von solcher Färbung zurückgeworfen wird, das auch in dem auffallenden Lichte vorhanden war, daß also auf keinen Fall Fluorescenzerscheinungen vorliegen. Vor allem sind es die stärker brechbaren blauen und grünen Strahlen, denen der Eintritt in die Zelle verwehrt wird. In vielen Fällen, so meint Berthold, könne auch die Möglichkeit vorhanden sein, nicht allein die Intensität des Lichtes herabzusetzen, sondern auch die im wesentlichen senkrecht zur Oberfläche eindringenden Strahlen innerhalb der Pflanze nach verschiedenen Richtungen abzulenken und so eine möglichst allseitige Durchleuchtung der Pflanze hervorzubringen[2]). — Ein durch intensive Beleuchtung verursachtes Zusammenballen der Zellinhaltsstoffe wurde von de Bary[3]) bei *Acetabularia* und vielen anderen Algen[4]) beobachtet und soll auch bei höheren Pflanzen vorkommen[5]).

Die von Penzig[6]) beschriebenen Kalkoxalatkrystalle unter der Blattepidermis der *Citrus*-Arten etc. dienen nur der Zerstreuung und Verteilung des Lichtes in dem dichten Mesophyll, haben aber nichts mit Lichtschutz zu tun. Die Bildung des Kalkoxalats ist allerdings in hohem Maße von der Beleuchtung abhängig; so enthielten die Sonnenblätter von *Aesculus, Acer, Alnus, Sambucus, Stellaria, Ulmus* zahlreichere und größere Kalkoxalatkrystalle als die Schattenblätter[7]).

§ 18.

15. Einige andere angebliche Lichtschutzeinrichtungen.

Der Vollständigkeit wegen möchte ich an dieser Stelle noch auf einige Einrichtungen im Pflanzenreich hinweisen, die auch als Lichtschutz gedeutet worden sind, jedoch praktisch so wenig wirksam sein dürften, daß sie, wenn in diesem Sinne funktionierend, jedenfalls nur sehr geringe Bedeutung haben; ich meine die Sekretion leicht flüchtiger ätherischer Öle und die Nervatur der Blätter.

---

[2]) Berthold, Über die Verteilung der Algen etc. Mitt. d. zool. Stat. l. c. p. 419.

[3]) de Bary, Bot. Ztg. 1877 p. 713.

[4]) Berthold, Beiträge etc. Pringsh. Jahrb. l. c. p. 710.

[5]) Stahl, E., Über den Einfluß von Richtung etc. Bot. Ztg. 1880 l. c. p. 342.

[6]) Penzig, O., Sull' esistenza di apparecchi illuminatori nell' intorno di alcune piante. Atti di Soc. d. Naturalisti. Modena 1883, ser. III. vol. 1. Ref. J. bot. J. XI. a Ref. 75 p. 158.

[7]) Schimper, A. F. W., Über Kalkoxalatbildung in den Laubblättern. Bot. Ztg. Leipzig 1888. 46. Jahrg. No. 5—10 p. 84.

Eine gute Übersicht der Litteratur über Vorkommen und Bedeutung der ätherischen Öle bei Pflanzen, über die Ansichten bezüglich der Schutzwirkungen dieser ätherischen Öle u. a. m. findet sich in der Arbeit Dettos[1]) „Über die Bedeutung der ätherischen Öle bei Xerophyten". Detto kommt zu dem Resultat, daß die in den Außendrüsen der Pflanzenorgane in leicht verdampfbarer Form sich findenden ätherischen Öle jedenfalls wertvolle und wirksame Schutzmittel sind, aber nicht einen Schutz gegen zu starke Transpiration bilden, wie er durch Versuche nachzuweisen sucht, — sondern lediglich eine Schutzwehr gegen Tiere darstellen, besonders gegen Schnecken und Weichtiere xerophiler Formationen.

Die Nervatur der Blätter, die für den Transport der Kohlehydrate und als mechanische Einrichtung von Bedeutung ist, soll nach Johow[2]) durch ihre Anordnung „auch eine vorteilhaft wirkende Abschwächung der Lichtstrahlen" bewirken. Nähere Angaben macht Johow über diese abschwächende Wirkung nicht; da aber auch die in Frage kommenden vorspringenden Rippen und Leisten sich immer nur auf der Blattunterseite befinden, so dürfte ihre sekundäre Bedeutung als Lichtschutz am besten ganz ausgeschaltet werden.

Eine Lichtschutzeinrichtung verdient hingegen noch hervorgehoben zu werden, die unter Umständen recht wirksam und vielleicht den von mir unter No. 8, 9, 10 (Haar-, Wachs- und krystallinische Salz-Überzüge) angeführten Lichtschutzeinrichtungen an die Seite gestellt werden kann: es ist der Staub, der, wie Meigen[3]) in Chile beobachten konnte, „im Sommer in ungeheuren Massen die Luft erfüllt und in der Ebene und auf den Hügeln alles mit einer dicken grauen Schicht überzieht." Die Bedeutung dieses Staubes sieht Meigen darin, daß er einmal die Blattfläche abschließt, ihr eine hellere Farbe verleiht und schließlich das ganze Blatt infolge der Belastung oft steil nach abwärts drückt.

Experimenteller Teil.

§ 19.

Ich habe versucht, im Vorhergehenden eine möglichst vollständige Übersicht über die bisher bekannt gewordenen Einrichtungen zu geben, die auf den Lichtschutz bezogen worden sind. Nur ganz wenige der Anpassungen dürften als reine Lichtschutzeinrichtungen gedeutet werden können: vor allem gehört hierzu die Bewegungsfähigkeit der Chlorophyllkörner[1]), die Ausbildung reflektierender Zellinhaltsbestandteile bei den Florideen[2]),

---

[1]) Detto, Carl, Über die Bedeutung der ätherischen Öle bei Xerophyten. Flora oder allg. bot. Ztg. 92. Bd. Jahrg. 1903 p. 147—199.

[2]) Johow, l. c. p. 301, 302. [3]) Meigen, l. c. p. 429.

[1]) l. c. § 4. [2]) l. c. § 17.

sowie die ausgesprochene Meridianstellung der Blätter bei den Kompaßpflanzen[3]). Im übrigen handelt es sich überall um kombinierte Schutzeinrichtungen[4]), also um Einrichtungen, die, abgesehen vom Lichtschutz, auch anderen Zwecken, besonders dem Verdunstungsschutz dienen[5]).

Die ganze Frage des Lichtschutzes ist experimentell noch außerordentlich wenig geklärt, besonders was die quantitativen Verhältnisse betrifft. Wenn Ursprung[6]) darauf hinweist, daß wir, was unsere Kenntnis über die thermische Bedeutung der Haarüberzüge betrifft, kaum mehr wissen, als was uns das Tragen von Kleidern, Hüten und die Verwendung der Sonnenschirme gelehrt hat, so ist dies vollständig richtig. Die Beobachtung der Tatsache, daß dem Licht stark exponierte Pflanzen vielfach sich durch wesentlich dichtere Haarbekleidung gegenüber Schattenexemplaren der gleichen Arten unterscheiden, weist zwar auf Lichtschutzwirkung der Haarbekleidung hin, gibt aber doch keinerlei Vorstellung von der Größe der Wirkung dieser Einrichtung.

Nur wenige experimentelle Untersuchungen über diese Verhältnisse liegen vor, die von Linsbauer[7]) stammen: bei ihm finden wir die einzigen Zahlenangaben, daß nämlich bei *Cydonia* die jungen Blätter ca. 1,3% des auffallenden Lichtes durch den Haarüberzug zerstreuten[8]); ferner sollen nach demselben Verfasser durch den Reifüberzug an den Blättern von *Primula Auricula* 0,9% der aufgestrahlten Lichtintensität zerstreut werden[9]).

Linsbauers[10]) Angaben über *Populus alba, Verbascum* und *Tussilago,* es werde von den älteren Blättern mehr Licht durchgelassen als von den jüngeren, sind nicht mehr exakt und mit seinen oben angegebenen Zahlen vergleichbar, weil die Durchleuchtungsfähigkeit des ausgebildeten, mit reichlichem Zellsaft versehenen Blattgewebes offenbar an sich schon größer ist als diejenige des in mehr embryonalen Zustande befindlichen jungen Blattes. Es ist zwar bezüglich dieser Pflanzen der Schluß, daß in erster Linie die Wirkung der bald verschwindenden Haarbekleidung in Frage kommt, nicht unwahrscheinlich, allein keineswegs durch Linsbauer sichergestellt; hat er doch auch gezeigt, daß die nichtbehaarten Nebenblätter von *Liriodendron tulipifera* das gleiche Verhalten zeigen[11]).

Andere experimentelle Untersuchungen, als deren Typus diejenigen von Lanza[12]) über die fleischigen Xerophyten aus der Gruppe der Aloineen zu nennen sind, haben sich auf Kulturversuche beschränkt, durch welche nachgewiesen wurde, daß die oben bereits geschilderten Ausbildungen an diesen Pflanzen[13]) tatsächlich als Anpassung an die intensive Insolation an den

---

[3]) l. c. § 7. [4]) Vgl. Hansgirg, l. c. p. 39 ff.
[5]) Vgl. Hansgirg, l. c. p. 178, 179 und Schimper, l. c. § 9.
[6]) Ursprung, l. c. p. 112.
[7]) Linsbauer, l. c. p. 79—89.
[8]) Linsbauer, l. c. p. 81, 82, 89. [9]) ibid. p. 82, 143.
[10]) ibid. p. 84. [11]) ibid. p. 85.
[12]) l. c. § 10. [13]) ibid.

natürlichen Standorten der Pflanzen angesehen werden müssen. Die wichtige Frage nach der quantitativen Wirkung der Einrichtungen, welche auf physikalisch experimentellem Wege zu lösen ist, wird dagegen garnicht gestellt.

Im folgenden werden deshalb zum ersten Mal umfassendere quantitative Untersuchungen über die Wirkung der an den Oberseiten phanerogamer Blätter stattfindenden Reflexions- und Zerstreuungsverhältnisse unter Berücksichtigung der Lichtschutzeinrichtungen gegeben.

§ 20.

Methode der Untersuchung.

Für meine Untersuchungen bediente ich mich der thermoelektrischen Meßmethode mit Hilfe eines nadelförmigen Thermoelements und eines Galvanometers nach Deprez d'Arsonval. Die Ablesung geschah objektiv mittels des vom Galvanometerspiegel entworfenen Bildes eines Lichtspaltes. Die auf der elastischen Nachwirkung[1]) beruhenden Fehlerquellen waren derart gering, daß sie nicht berücksichtigt zu werden brauchten. Zur Belichtung der Pflanze benützte ich, wie dies auch Müller (Thurgau)[2]) bei seinen Versuchen über Heliotropismus getan hat, eine sehr konstant brennende Petroleumlampe mit starkem Reflektor. Nach jedem Versuche wurde ein dicker, nach der Lichtquelle zu mit Stanniol bedeckter Schirm zwischen diese und das Thermoelement geschoben und eine Zeitlang gewartet, bis das Lichtbild wieder zurückgegangen war; dann wurde durch plötzliches Hinwegziehen des Schirmes das Objekt von neuem den Lichtstrahlen ausgesetzt.

Ich bestimmte experimentell die Differenzen der Ausschläge, die bei den hier in Betracht kommenden Objekten auftreten, wenn die als Schutzbedeckung angesehene Bekleidung vorhanden war und wenn sie fehlte. Meine Versuche waren dabei derart angeordnet, daß ich die zu untersuchenden Objekte in möglichst gleichmäßiger Weise und in engster Berührung mit der Thermonadel den Strahlen der Lichtquelle aussetzte. Bei den meisten Versuchen betrug der Einfallswinkel 45^0; nur bei den rinnenförmig gestalteten Bromeliaceenblättern ließ ich die Strahlen parallel der Symmetrieebene einfallen. Ich bin mir dabei wohl bewußt, daß unter anderen Einfallswinkeln die im folgenden erörterten Verhältnisse sich ändern können.

Für die zunächst untersuchten schuppenbedeckten Bromeliaceenblätter konnten stets die gleichen Objekte verwendet werden. Dabei wurden die Blattstücke fest an die Nadel gespießt und nun zunächst mit Schuppen, nachher nach Entfernung des Schuppenkleides untersucht. Ein gleiches

---

[1]) Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. Leipzig-Berlin 1901 p. 364.

[2]) Müller, H. (Thurgau), Über Heliotropismus. Flora oder allg. bot. Ztg. Regensburg 1876. LIX. Jahrg. No. 5, 6 p. 91.

Verfahren wurde auch bei den derberen Blättern der von mir zur Untersuchung des Wachsbelages benützten Succulenten angewendet.

Bei anderen Objekten, besonders denen, auf welche sich die Untersuchung der Wirkung spiegelnder Oberflächen bezog, wäre dies Verfahren nicht angängig gewesen. Zwar bestehen keine wesentlich technischen Schwierigkeiten, derbe Blätter, z. B. diejenigen vieler *Ficus*-Arten, in gleicher Weise wie die oben erwähnten Objekte an die Nadel zu spießen; allein hier war es, wie sich im Verlauf der Untersuchung ergab, nicht möglich, die Oberfläche durch Entfernung der wirksamen Bekleidung in Untersuchung zu ziehen. Hier mußte spiegelnde Oberfläche mit matter Unterseite verglichen werden, ein Vergleich, der bloß dann von Wert sein konnte, wenn die einfallenden Strahlen unter allen Umständen gleiche Dicken zu durchlaufen hatten.

Dies ist nicht der Fall, wenn die Thermonadel ins Mesophyll eines derartigen Blattes eingestochen wird. Zwar würde eine solche Versuchsanordnung, bei welcher durch leicht zu bewirkende Drehung des ganzen Objektes sukzessive die beiden Seiten der Lichtquelle ausgesetzt werden können, den Vorteil bieten, dasselbe Objekt zu den korrespondierenden Untersuchungen heranziehen zu können, allein die Resultate eines derartigen Vergleichs könnten möglicherweise doch nicht einwandfrei sein.

Zunächst ist es technisch außerordentlich schwer und niemals mit voller Sicherheit zu erreichen, eine Thermonadel genau gleichweit entfernt von beiden Oberflächen ins Mesophyll eines derartigen Blattes zu versenken. Die Empfindlichkeit der thermoelektrischen Messung ist so groß, daß selbst ganz geringe Dicken- und Qualitätsdifferenzen der von den Strahlen durchsetzten Gewebe bedeutende Unterschiede ergeben können. Besonders aber ist durch vielfache Untersuchungen bekannt[3]), daß sich die Gewebe des Mesophylls den einfallenden Strahlen gegenüber sehr verschieden verhalten. Bei der zunächst von mir versuchten, dann aber bald verworfenen hier dargelegten Versuchsanordnung sind ungleichartige Partien des Blattes, nämlich einmal Palisadenparenchym, das andere Mal Schwammparenchym der Lichtquelle zugewendet und alterieren die Resultate.

Zu zuverlässigen und in genügender Weise übereinstimmenden Resultaten bin ich bei solchen Blättern erst gelangt, als ich aus korrespondierenden Blattteilen geschnittene Untersuchungsobjekte verwandte, die in der Weise zubereitet waren, daß je zwei Blattstücke fest aufeinander genäht wurden und zwar das eine Mal die Oberseiten, das andere Mal die Unterseiten nach außen. In diesem Fall wird unter allen Umständen die Durchlässigkeit des gesamten Blattes für die einfallenden Strahlen untersucht und die Differenzen, die sich, wenn die äußeren Umstände gleich sind, bei diesen Untersuchungen ergaben, können nur auf den physikalischen Verhältnissen der größeren oder geringeren Durchlässigkeit der Oberflächen beruhen.

---

[3]) Vgl. Pfeffer, l. c. I. p. 329.

Die hier angegebene Methode der Zubereitung der Objekte für die Untersuchung konnte überall leicht Verwendung finden, wo derbe und beiderseits ebene Blätter vorlagen. Es wurde dann die Nadel zwischen je zwei Stiche des ringsum geführten zusammenhaltenden Fadens eingebohrt und der federnde Widerstand, den die Objekte dem Einschieben der Nadel boten, war in jedem Fall ein genügender Beweis dafür, daß die Nadel wirklich dem Blatt anlag.

In dieser Beziehung muß bei der Untersuchung die größte Vorsicht obwalten, denn es hat sich bei meinen Versuchen anfangs mehrfach ergeben, daß bedeutende Abweichungen entstanden, die, wie die spätere Erkenntnis lehrte, dadurch zu erklären waren, daß ein, wenn auch sehr geringer Abstand zwischen der Thermonadel und dem zu untersuchenden Blattstücke sich befand, in diesem Fall also nicht die Erwärmung des Blattes direkt gemessen wurde.

Ich bin deshalb bald dazu übergegangen, die Blattstücke nicht mehr zusammenzunähen, sondern sie auf eine größere Schicht von Modellierwachs aufzukleben. Wurde nun die Nadel hinter die Blattstücke geschoben und das Modellierwachs darauf fest angedrückt, so bestand die Sicherheit eines völligen Kontaktes von Nadel und Blattfläche. Um zu verhindern, daß sich die Thermonadel etwa in das Modellierwachs hineindrückte resp. geringe Spuren von Wachs zwischen Nadel und Blatt gelangten, wurde genau hinter der Thermonadel auf dem Modellierwachs ein ganz kleines Stück Pergamentpapier angebracht; dadurch haftete die Nadel nicht im geringsten an dem Modellierwachs und konnte dabei doch in geeigneter Weise umschlossen und an das Blatt angedrückt werden. Wenn trotzdem die Versuchsbedingungen recht kompliziert sind, so kann man doch hoffen, vergleichbare Resultate zu erhalten, und ich kann sagen, daß derartig zubereitete Objekte mir die übereinstimmendsten und sichersten Resultate im Verlaufe meiner Untersuchungen gegeben haben.

Durch diese Anordnung der Versuche vermied ich eine Fehlerquelle, auf die Ursprung[4]) bereits hingewiesen hat, indem er darauf aufmerksam macht, daß die Methode der thermoelektrischen Messung um so brauchbarere Resultate liefere, je kleiner der Abstand zwischen Blatt und Thermoelement sei. Bei Ursprung finden wir stets noch Distanzen von 9 und 90 mm, während er selbst bloß diejenigen Werte für richtig hält, die für unendlich kleine Distanzen erhalten werden. Es kann dementsprechend nicht verwundern, daß Ursprung[5]) für das Blatt von *Glaucium luteum* Scop., das er mit und ohne Wachsbedeckung untersuchte, keine Differenz finden konnte, während ich bei direkter und inniger Berührung der Thermonadel mit dem Blatte bei sehr ähnlichen Objekten stets mehr oder weniger große Differenzen fand. Ich glaube, daß dies durch die verschiedene Versuchsanordnung seine Erklärung findet.

[4]) Ursprung, l. c. p. 65. [5]) ibid. p. 62.

Obgleich die Konstanz meiner Lampe recht befriedigend war, wurden doch die Versuche derart angeordnet, daß sie in regelmäßigem Wechsel sich jeweils auf Oberseite und Unterseite, resp. bedecktes und unbedecktes Blatt bezogen, und nur dann wurden die Ergebnisse der Beobachtungen zu Schlußfolgerungen verwendet, wenn die Paare einer Untersuchungsreihe jeweils genügende Übereinstimmung aufwiesen.

Dabei kam es mir nicht darauf an, absolute Messungen der eingestrahlten Wärme zu machen. Es ist dies ein Faktor, der auch im Leben der Pflanze nicht nur nach den Jahreszeiten, sondern auch im Verlauf desselben Tages mit dem verschiedenen Stand der Sonne ganz außerordentlich variiert und für welchen höchstens Maximum und Minimum resp. Durchschnittswerte gegeben werden können.

Die Messungen der Lichtintensität mittels der bisher angewendeten photometrischen Methoden[6]) haben, wie Linsbauer selbst angibt, erst nach langjähriger Praxis und Übung einen Anspruch darauf, daß durch die Beobachtungen des Experimentators keine größeren Fehler zu verzeichnen sind. Es wäre also jedenfalls von der größten Bedeutung, nach anderen Methoden zu suchen, um so leichter eine immer größere Genauigkeit der Resultate zu erzielen.

Bei meinen Versuchen wurde darauf geachtet, daß auf die in der Nähe der Schnittränder gelegenen Teile des Blattes keine Strahlen fielen. Dies war deswegen notwendig, weil es sich zeigte, daß an den frischen Schnitträndern bei eintretender Erwärmung, infolge des einfallenden Lichtes, stärkere Verdunstung eintrat, als für die Exaktheit der Resultate wünschenswert war. Hier mußte also eine Fehlerquelle vermieden werden, die durch die Empfindlichkeit der Meßinstrumente verursacht wird; sie konnte dadurch eingeschränkt werden, daß mit Hilfe von engen Blenden nur Partien des Blattes dem Licht ausgesetzt wurden, die von den Schnittflächen genügend weit entfernt waren.

Aber auch unter diesen Verhältnissen zeigt es sich, daß die Verdunstungsgröße, die mit zunehmender Erwärmung rasch wuchs und die ihre Ursache nicht nur in der an den Schnittflächen, sondern auch in der aus den Spaltöffnungen heraus stattfindenden Verdunstung findet, die Resultate zu beeinflussen imstande ist. Diese Fehlerquelle meiner Versuche habe ich nicht völlig vermeiden können. Sie war auch dadurch nicht auszuschalten, daß ich die Untersuchungen im dampfgesättigten Raum vornahm. Schon Sachs[7]) macht darauf aufmerksam, wie schwer es sei, einen konstant mit Wasserdampf gesättigten Raum zu erhalten; es sei für die Pflanze immer noch

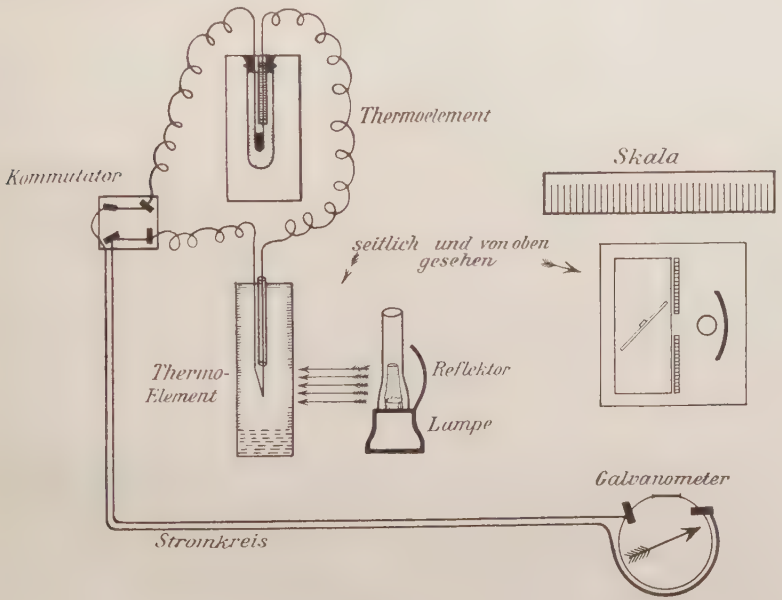
---

[6]) Wiesner, J., Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiolog. Gebiete. I. Abhandl. Sitzber. d. K. Akad. d. Wiss. in Wien; Math.-nat. Cl. Bd. CII. Abt. I. 1893 p. 298 ff.

Linsbauer, l. c. p. 57—62 u. a.

[7]) Sachs, J., Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Leipzig 1882 p. 271.

Gelegenheit zu transpirieren, „da eine Dampfsättigung äußerst schwer zu erzielen ist“. Da nämlich die Temperatur eines Blattstückes höher als die seiner Umgebung wird, so verdunstet aus ihm beständig Wasser, auch in mit Wasserdampf gesättigter Luft[8]). Knop[9]) und andere haben zwar gefunden, daß an wassergetränktem Fließpapier, mit welchem die Kammer, bis auf das der Beleuchtung dienende Fenster ausgekleidet war, die Verdunstung sehr viel rascher vor sich geht, als dies bei Blättern der Fall ist; der wechselnden Belichtung und Verdunkelung halber war es jedoch erforderlich, daß begrenzte Strahlenbündel auch bei den Versuchen in der feuchten Kammer verwendet wurden. Das Objekt erhielt daher stets eine höhere Erwärmung als der übrige Raum in der feuchten Kammer, ein Umstand, der höhere Verdunstung und somit eine Verminderung des Ausschlags am Galvanometer ergab.



Figur 1.

Diese Fehlerquelle kann aber wesentlich eingeschränkt, ja fast ganz ausgeschaltet werden, wenn man sich stets nur auf ganz kurze Beobachtungszeiten beschränkt. Der durch die Verdunstung am Blatt entstehende Fehler muß um so größer werden, je größer die Temperaturdifferenz zwischen dem lichtgetroffenen Objekt und der nicht erwärmten Umgebung ist. Je kürzer die Zeit der Belichtung und somit der Erwärmung des Objektes ist, um so geringer wird dieser Fehler sein.

[8]) Detlefsen, Arb. des bot. Instit. Würzburg 1888 p. 549.
[9]) Vgl. Knop, Versuchsstat., 1864 Bd. 6 p. 250.
Baranetzky, Bot. Ztg. 1872 p. 62 Anm.

Ich bin in dieser Beziehung in völliger Übereinstimmung mit Ursprung [10]), der gleichfalls gefunden hat, daß Versuche über die Durchstrahlung der Blätter auf ganz kurze Zeit beschränkt bleiben müssen; die von ihm als Regel angenommenen 18 Sekunden habe ich allerdings stets weit überschritten und konnte dies, weil meine Lampe weit weniger Strahlen aussandte als die von Ursprung verwendete Wärmequelle.

Bei meinen Untersuchungen habe ich gefunden, daß bei 10 bis 15 Minuten dauernder Beleuchtung die Differenz zwischen geschützter und ungeschützter Seite der Blätter resp. mit Schutzdecken versehenen und derselben beraubten Blätter zwar dauernd vorhanden ist, aber mit der Länge an Beobachtungszeit allmählich immer kleiner wird. Dies Verhalten kann nur durch die bezeichnete Fehlerquelle der Untersuchungsanordnung bedingt sein. Im folgenden werde ich deshalb nur Beobachtungen bis zu fünf Minuten Dauer hier wiedergeben, weil sie allein nach den Vorversuchen zutreffende Resultate ergeben haben.

Das Benetzen der Blätter wurde mit einem feinen Haarpinsel ausgeführt, wobei darauf zu achten war, daß die Blätter nicht übermäßig naß, sondern nur mit einem gleichmäßig dünnen, aber kontinuierlichen Wasserhäutchen überdeckt wurden. Diese Manipulation wurde nach jedem einzelnen Versuch zur größeren Sicherheit wiederholt. — Daß das Fortnehmen des Haarüberzuges sowie des Wachsbelages sich stets auf das ganze Blattstück und nicht nur auf den über der Thermonadel liegenden Teil bezieht, sei besonders erwähnt. Bei allen Versuchen wurde genau darauf geachtet, daß die Thermonadel immer mit einem dünnen Firnisüberzug bedeckt war, was besonders wichtig ist beim Einbohren der Nadel in die Blätter, da sonst hierbei Ströme entstehen, die das Resultat beeinflussen können.

Die Grösse der Lichtzerstreuung an mit Trichomen bedeckten Blattgebilden.

§ 21.

Daß eine starke Lichtzerstreuung an sehr vielen mit Haargebilden überdeckten Pflanzenteilen vorhanden ist, geht, wie bereits oben bemerkt, aus der weißen Farbe derartiger Objekte hervor.

Die Trichombekleidung wird, und dies geschieht wohl mit Recht, in erster Linie als Anpassung zur Verminderung der Verdunstungsgröße betrachtet. Die oben erwähnten Versuche Linsbauers über den durch Trichombedeckung gewährten Lichtschutz erweitere ich im folgenden.

Einer experimentellen Untersuchung habe ich zwei sehr verschiedene Pflanzengruppen mit dichter Haarbekleidung unterworfen und bin zu dem Resultat gekommen, daß die Menge der an Haarbekleidungen zerstreuten Strahlen recht bedeutend sein kann.

---

[10]) Ursprung, l. c. p. 61.

1. Schuppenhaare der Bromeliaceen.

Zunächst führe ich meine Untersuchungen über extrem atmosphärische Bromeliaceen der Gattung *Tillandsia* hier an.

Über topographische Anordnung des Schuppenkleides dieser Formen sind nähere Angaben bei Schimper[1]) und Mez[2]) gemacht. Ich rekapituliere aus denselben die folgenden wichtigsten Punkte: Jede Schuppe besteht aus einem zentralen, relativ derben und im wesentlichen der direkten Wasseraufnahme dienenden Schild und einem flach ausgebreiteten oder schräg nach oben gestellten, zarten, hyalinen, aus schmalen, radiär angeordneten Zellen gebildeten Flügel.

Während das Schild mit seiner Unterseite mit der Blattepidermis fest verwachsen ist und keinen Luftraum zwischen sich und der Blattepidermis läßt, sind die Zwischenräume zwischen Flügel und Blattepidermis, sowie bei der überall eintretenden partiellen gegenseitigen Deckung der Flügel zwischen diesen selbst, im trockenen Zustande mit Luft erfüllt.

Was die genauere, für die optischen Erscheinungen in Frage kommende Struktur dieser Flügelzellen betrifft, so kann ich nach meinen Untersuchungen die Angaben Hedlunds[3]) bestätigen, daß dieselben im trockenen Zustand nach oben offene Schalen darstellen, das heißt, ihre Konkavflächen nach außen richten.

Während Schimper der Meinung ist, daß diese Trichomflügel im wesentlichen dem Verdunstungsschutz der Pflanzen dienen, hat Mez überzeugend dargetan, daß ihre vorzüglichste Funktion in der Hinleitung atmosphärischen Wassers zu den Scheibenzellen der Trichome besteht, wobei er selbstverständlich auch ihre nebensächliche Bedeutung als Schutzorgane gegen allzu intensive Verdunstung betont.

Ich möchte diesen beiden Funktionen noch eine dritte zur Seite stellen, nämlich die als Lichtschutzapparat, wobei ich mir darüber klar bin, daß auch diese Eigenschaft der Trichome nur eine sekundäre ist und gegenüber ihrer Bedeutung als kapillar wasserzuführende Organe zurücktritt.

Meine ersten Untersuchungen an derartigen Bromeliaceenblättern bezogen sich bei dem zunächst vorhandenen Mangel an lebendem Material von anderen typischen Formen nicht auf die Oberseite, sondern auf die Unterseite der Blätter von *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr. Diese Versuche waren in Anbetracht der Tatsache, daß es sich hier bei der ausgebreiteten Lage der Rosettenblätter von Pflanzen um Verhältnisse handelt, die nicht als Lichtschutzverhältnisse gedeutet werden können, wesentlich informatorischer Natur. Die Größen der Zerstreuung der Strahlen, die ich

---

[1]) Schimper, A. F. W., Die epiphytische Vegetation Amerikas. Jena 1888 p. 69.

[2]) Mez, C., Physiolog. Bromeliaceen Studien I. Sep. aus Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XL, Heft 2. 1904 p. 185 ff.

[3]) Hedlund in Botanisca Notiser 1901 p. 217—224, zit. nach Bot. Zentralbl. LXXXIX (1902) p. 149.

hier gefunden habe, geben nur einen Maßstab für die Wirksamkeit der Lichtzerstreuung durch Schuppenbelege, die normaler Weise nicht dem direkten Licht ausgesetzt sind und dementsprechend nicht als Lichtschutz dienen dürften. Ein Interesse haben diese Versuche trotzdem deswegen, weil sie zeigen, wie groß die Wirkung der gerade bei *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr.[4]) studierten, der kapillaren Wasseraufsaugung dienenden Belege ohne spezielle Anpassung an Lichtverhältnisse sind.

Die im Nachstehenden dargestellten Versuche wurden an Blättern ausgeführt, in welche die Thermonadel eingestochen war. Sie ergaben eine nicht unbeträchtliche, wenn auch, wie die folgenden Versuche zeigen werden, in ihrer Höhe keineswegs auffällige Zerstreuung der Strahlen, denn die Temperatur stieg bei Blättern mit Schuppenbelag auf 20,0, bei solchen ohne Schuppenbelag auf 22,5 Skalenteile im Mittel. Setzt man die bei der Versuchsanordnung Tabelle 1 No. 2 angegebenen Skalenteile (22,5) gleich 100, so würden der Unterseite mit Schuppen (No. 1: 20,0 Skalent.) nur 88,9 Skalenteile entsprechen, d. h. 11,1 % der Strahlen werden durch den Schuppenbelag reflektiert resp. zerstreut.

Tabelle No. 1.

Name der Pflanze: *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr.
Zeit der Belichtung: 1 Min. — Versuchsanordnung: im dampfgesättigten Raum.

Versuch No. / Versuchsreihe No.	1. Unterseite mit Schuppen; trocken	2. Unterseite ohne Schuppen	3. Unterseite mit Schuppen; benetzt	4. glänzende Oberseite ohne Schuppen
	Skalenteile	Skalenteile	Skalenteile	Skalenteile
1	20,5	22,5	23,0	21,5
2	20,0	23,0	23,5	21,0
3	19,0	21,0	21,5	19,5
4	18,5	21,5	22,0	20,0
5	19,5	22,0	22,0	20,5
6	19,0	21,5	22,5	20,0
7	20,0	23,0	23,5	21,5
8	20,5	22,5	23,0	21,0
9	22,0	24,0	24,0	22,5
10	21,0	24,0	25,0	22,5
Gesamt-Mittel:	20,0	22,5	23,0	21,0
Diff. von:	1/2	2/3	—	2/4
in Prozent:	11,1 %	2,2 %	—	6,7 %

Ich werde unten nochmals auf *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr. zurückzukommen haben und an dieser Spezies zeigen, daß auf der Unterseite der Blätter, durch die in eigenartiger, ganz charakteristischer Weise hohlspiegelartig gebauten Epidermiszellen, die Lichtreflexion eine beträchtliche Höhe erreichen kann.

Die Unterseite des Blattes von *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr. zeigt auch eine glänzende Epidermis, welche die Wirkung des Schuppenbelages

[4]) Tietze, M., l. c. p. 42.

noch verstärkt. Tritt aber Benetzung der Pflanze ein, so wird dadurch, daß die Kapillarräume zwischen Schuppen und Blattepidermis mit Wasser ausgefüllt werden, diese an der glänzenden Außenseite der Blattepidermis stattfindende Lichtbrechung in derselben Weise aufgehoben, wie dies durch Zwischenschaltung des Zedernholzöles zwischen Deckglas und Frontlinse unserer Mikroskop-Immersionssysteme geschieht. Sind diese Kapillarräume mit Wasser gefüllt, so zeigt das Galvanometer nach einer Minute einen Anstieg bis zu 23,0 Teilstrichen im Mittel, überholt also den Anstieg, der von der schuppenlosen Oberfläche erreicht wird, nochmals um 2,2%.

Es versteht sich, daß diese Versuche mit benetztem Schuppenbelag im dampfgesättigten Raum ausgeführt wurden; daß daher die gefundenen Differenzen eher zu gering als zu groß sind, geht aus meinen oben gemachten Ausführungen hervor.

Noch ausschlaggebender waren die Resultate, die ich bei den Untersuchungen von Blättern erhielt, die von extrem atmosphärischen *Tillandsia*-Arten stammten und sich durch ihre allseitige, spreuartige Schuppenbekleidung auszeichneten.

Tabelle No. 2.

Name der Pflanze: *Tillandsia Gardneri* Lindl.

Versuchsanordnung: im dampfgesättigten Raum.

Versuchsreihe No. I: Blatt mit Schuppen; trocken.

Zeit der Belichtung: Laufende No.	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile	5 Min. Skalenteile
1	45,5	104,0	160,5	211,5	259,5
2	45,0	104,5	160,0	211,0	260,0
3	47,5	106,5	162,5	213,5	262,0
4	47,0	106,0	162,0	213,0	261,5
5	46,0	105,0	161,0	212,0	260,5
6	46,5	105,5	161,5	212,5	261,0
7	44,5	103,5	159,5	210,5	259,0
8	44,5	103,5	159,5	210,5	259,0
9	46,5	106,0	161,5	212,5	261,0
10	47,0	105,5	162,0	213,0	261,5
Gesamt-Mittel:	46,0	105,0	161,0	212,0	260,5
Versuchsreihe No. II: Blatt ohne Schuppen.					
1	55,5	120,5	180,0	234,5	284,0
2	56,0	120,0	179,5	234,0	284,5
3	57,5	122,5	182,0	236,5	286,0
4	58,0	122,0	182,5	236,0	286,5
5	56,5	121,0	181,5	235,0	285,5
6	56,5	121,5	181,5	235,5	285,0
7	55,5	119,5	180,0	233,5	283,5
8	55,0	119,5	179,5	233,5	283,5
9	57,0	121,5	181,5	235,5	285,5
10	57,5	122,0	182,0	236,0	286,0
Gesamt-Mittel:	56,5	121,0	181,0	235,0	285,0

Versuchsreihe No. III: Blatt mit Schuppen; benetzt.

Zeit der Belichtung: Laufende No.	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile	5 Min. Skalenteile
1	56,5	123,5	183,0	237,5	285,0
2	55,5	122,5	182,5	236,5	286,0
3	58,0	125,0	186,0	240,0	287,5
4	59,0	126,0	185,5	239,0	288,5
5	57,0	124,0	184,5	238,5	287,0
6	57,5	124,5	184,0	238,0	286,5
7	55,5	123,0	182,5	236,5	285,0
8	56,0	122,5	183,0	237,0	285,5
9	57,0	124,0	184,0	239,0	286,5
10	58,0	125,0	185,0	238,0	287,5
Gesamt-Mittel:	57,0	124,0	184,0	238,0	286,5
Diff. von:	No. I/II	I/II	I/II	I/II	I/II
in Prozent:	18,6%	13,2%	11,0%	9,8%	8,6%
Diff. von:	No. I/III	I/III	I/III	I/III	I/III
in Prozent:	19,3%	15,3%	12,5%	10,9%	9,1%

Tabelle No. 3.

Name der Pflanze: *Tillandsia aloifolia* Hook.
Versuchsanordnung: im dampfgesättigten Raum.
Versuchsreihe No. I: Blatt mit Schuppen; trocken.

Zeit der Belichtung: Laufende No.	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile
1	32,0	75,0	113,0	148,5
2	32,0	74,5	113,0	148,0
3	30,5	74,0	111,5	148,0
4	31,0	73,5	112,0	147,5
5	29,5	73,0	110,5	146,0
6	30,0	73,0	111,0	146,0
7	31,0	73,5	111,5	147,5
8	30,5	74,0	112,0	147,0
9	29,0	72,0	110,0	145,5
10	29,5	72,5	110,5	146,0
Gesamt-Mittel:	30,5	73,5	111,5	147,0
Versuchsreihe No. II: Blatt mit Schuppen; benetzt.				
1	38,5	82,5	126,0	167,0
2	38,0	83,0	125,5	166,5
3	36,5	81,5	123,5	165,0
4	37,0	81,0	125,0	164,5
5	35,0	80,5	123,5	164,0
6	36,0	80,0	124,5	165,5
7	37,0	81,5	125,0	164,5
8	36,5	81,0	125,5	165,0
9	35,0	79,0	123,5	163,5
10	35,5	80,0	123,0	164,0
Gesamt-Mittel:	36,5	81,0	124,5	165,0

Versuchsreihe No. III: Blatt ohne Schuppen.

Zeit der Belichtung: Laufende No.	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile
1	41,5	87,5	131,5	173,0
2	41,0	87,5	131,0	173,0
3	40,0	86,0	131,0	172,0
4	40,5	86,5	130,0	171,5
5	39,5	85,5	129,0	170,5
6	39,5	85,0	129,5	171,0
7	40,0	86,5	130,5	172,0
8	40,5	86,0	130,0	171,5
9	39,0	84,5	129,0	170,0
10	38,0	85,0	128,5	170,5
Gesamt-Mittel:	40,0	86,0	130,0	171,5
Diff. von:	I/III	I/III	I/III	I/III
in Prozent:	23,8%	14,5%	14,2%	14,3%
Diff. von:	I/II	I/II	I/II	I/II
in Prozent:	16,4%	9,3%	10,4%	10,9%

Meine Tabellen No. 2 und No. 3 beziehen sich auf *Tillandsia Gardneri* Lindl., die von allen Autoren als Typobjekt für die Anpassungserscheinungen der extrem atmosphärischen Tillandsien studiert worden ist und auf die an besonders trockenen und hellen Standorten vorkommende *Tillandsia aloifolia* Hook. Bei der ersteren beträgt, wie meine Tabelle ergibt, die Zerstreuungsgröße der trockenen Schuppen im Vergleich mit dem schuppenlosen Blatt 18,6% der gesamten einfallenden Strahlen; bei *Tillandsia aloifolia* Hook. (Tab. 3) steigt dieser Betrag sogar bis auf 23,8% und ist der höchste, den ich bei Bromeliaceenblättern überhaupt beobachtet habe.

Ähnliche Resultate ergaben die Untersuchungen der Blätter von *Tillandsia streptophylla* Scheidw. und *Tillandsia vestita* Ch. et Schdl.; es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Strahlenzerstreuung an der Schuppenbedeckung der Blätter extrem atmosphärischer Bromeliaceen konstant einen sehr hohen Wert besitzt.

Es könnte überraschen, daß die mit besonders stark abstehender Beschuppung versehene *Tillandsia Gardneri* Lindl. in ihrer Lichtzerstreuungsfähigkeit überragt wird von *Tillandsia aloifolia* Hook., deren Schuppen der Blattfläche viel ebener anliegen, an Größe diejenigen von *Tillandsia Gardneri* Lindl. nicht erreichen und daher sich nicht so vielfach decken als jene.

Aber *Tillandsia aloifolia* Hook. und eine geringe Anzahl nächstverwandter Arten zeichnet sich in anatomischer Beziehung, was den Schuppenbau betrifft, vor allen übrigen *Tillandsia*-Arten aus. Es handelt sich hier[5]) um die Eigenschaft der *Tillandsia aloifolia* Hook., daß die Membranen ihrer Schuppenflügel dicht mit feinen, sehr deutlichen Körnchen bedeckt sind, deren ganze Anordnung es erklärlich macht, daß sie die Lichtzer-

[5]) Vgl. die Figur in Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 40 (1904) Heft 2 p. 159 Fig. 1.

streuung an den Schuppenmembranen auf das wesentlichste unterstützen. Ich möchte in dieser anatomischen Eigenschaft der untersuchten *Tillandsia aloifolia* Hook. den Grund für die besonders hohe Lichtzerstreuungsfähigkeit ihrer Schuppenmembranen sehen und zweifle nicht daran, daß die beschriebenen Körnchen nichts anderes sind als Lichtzerstreuungsapparate.

Die Erscheinung, welche bereits bei *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr. hervortrat, — daß nämlich dann, wenn die Intercellularräume zwischen Schuppenmembran und Epidermis mit Wasser erfüllt sind, die Lichtzerstreuung aufgehoben wird, ja daß sogar in diesem Falle die Einwirkung der Strahlen, obgleich sie die Schuppenmembranen und die zwischen ihnen enthaltenen Wasserschichten durchsetzen müssen, bedeutender ist, als wenn die gesamte Schuppenbekleidung entfernt wird, — tritt auch bei *Tillandsia Gardneri* Lindl. auf. Bei dieser Spezies betrug die höhere Erwärmung bei benetztem Schuppenbelag in der zweiten Minute drei Teilstriche im Mittel, d. h. um 2,4% wurde die schuppenlose Oberfläche weniger erwärmt.

Bei *Tillandsia aloifolia* Hook. dagegen ist ein so großer Ausschlag, der durch die Benetzung des Schuppenbelages erzielt wird, nicht zu beobachten. Wie die Tabelle ergibt, werden nach 2 Minuten bei trockenem Schuppenbelag 73,5, bei fehlendem Schuppenbelag 86,0 Skalenteile erreicht. Die Temperaturerhöhung bei benetztem Schuppenbelag (81,0 Skalenteile) hält die Mitte zwischen den Werten der schuppenlosen und beschuppten Pflanze; daß dieser Wert nicht (wie bei *Tillandsia Gardneri* Lindl.) die Höhe des schuppenlosen Zustandes übertrifft, dürfte auf Rechnung der Lichtzerstreuung zu setzen sein, die an den beschriebenen Körnchen stattfindet.

Tatsächlich erkennt auch das unbewaffnete Auge einen wesentlichen Farbenunterschied zwischen den benetzten Blättern von *Tillandsia Gardneri* Lindl. und *Tillandsia aloifolia* Hook. Jene sind, wie dies Schimper[6]) mit Recht besonders hervorhebt, im benetzten Zustande hellgrün, diese dagegen, auch wenn vollständig mit Wasser getränkt, immer noch grüngrau.

Aus den bei den gesamten Bromeliaceen beschriebenen Verhältnissen geht klar hervor, daß der Lichtschutz, der von der Schuppenbedeckung gewährt wird, nur in Zeiten der Trockenheit wirklich große Bedeutung besitzt, dagegen vollständig aufhört oder, wie z. B. bei *Tillandsia aloifolia* Hook., wesentlich gemindert wird, sobald Regen fällt. In trockenen Zeiten setzt die Pflanze durch das Vorhandensein des Schuppenbelages allein schon ihre Verdunstung auf das wesentlichste herab. Wie bedeutend die Verdunstungshemmung ist, wie langsam das Wasser aus den Intercellularen des Schuppenbelages heraus verschwindet, wurde durch Mez[7]) rechnerisch und experimentell festgestellt. Dazu kommt nun aber auch im trockenen Zustand noch die Reduktion derjenigen Strahlenmenge, welche nicht der Assimilation dient, sondern nur die Verdunstungsgröße heraufsetzt.

---

[6]) Schimper, l. c. p. 70; vgl. auch: Mez, l. c. p. 182.

[7]) Mez in Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. 40, 1904 l. c. p. 191, 197.

Ein gleiches ist bei den benetzten Pflanzen nicht der Fall. In denjenigen Zeiten, welche reichlich Bewässerung bringen, kommt es auf größere oder geringere Verdunstung weniger an; demnach sehen wir, daß die in ihrer Wirksamkeit vorher, im trockenen Zustand des Blattes, stark geminderte Lichtfülle nun ungehindert ins Blattinnere gelangt. Allerdings dürfte die Lichtmenge, die das im natürlichen Zustande benetzte Blatt trifft, des bewölkten Himmels wegen, dem ja doch der Regen entstammt, eine wesentlich geringere sein, als die Strahlenmenge, die der unbewölkte Himmel der trockenen Jahreszeit herabsendet.

Die hier beschriebenen Verhältnisse sind in dieser Ausbildung natürlich nur bei solchen Pflanzen möglich, bei denen infolge fehlender Cuticularisation der Trichommembranen eine völlige Benetzung derselben möglich und zugleich infolge des Zusammenhangs der durch die Trichome gebildeten Capillarsysteme eine sehr vollständige ist[8]).

§ 22.

2. Gewöhnliche Haare anderer Pflanzengruppen.

Wo immer das Wasser nicht die Haarbekleidung durchtränkt, kann auch während der feuchten Zeit die lichtzerstreuende Wirkung des Trichombelages nicht wesentlich herabgesetzt werden. Dies ist bei einem meiner Versuchsobjekte der Fall, das sich durch besonders stark weißfilzige Blätter auszeichnet, nämlich bei *Centaurea candidissima* Lam.

Diese Spezies zeichnet sich durch einen dichten Filz aus, der von außerordentlich langen, schlaffen, nach dem Typus der zweiarmigen Trichome gebauten Haaren gebildet wird. Die Schenkel dieser Haare stehen nicht ab, sondern laufen der Blattfläche mehr oder weniger parallel; sie sind so dicht miteinander verflochten, daß man von lockerem Gewebe im ursprünglichen Sinne des Wortes sprechen kann. Dabei bieten sie mit ihren zahlreichen plötzlichen Biegungen und Knickungen, sowie dadurch, daß sie streckenweise ihr Lumen deutlich erkennen lassen, streckenweise aber auch wieder zusammengefallen sind, eine übergroße Menge von Unregelmäßigkeiten dar, welche lichtzerstreuend wirken.

Die Entfernung der Haare ist mit Hilfe eines feinen Skalpells soweit möglich, daß die grüne Unterlage vollkommen unverletzt erscheint. Ich habe bei Vergleich von Oberseite mit Haarbelag resp. nach experimenteller Entfernung desselben meine Tabelle 4 erhalten, welche zeigt, daß bei dieser *Centaurea* in der ersten Minute ca. 37% der Strahlen zerstreut resp. reflektiert werden.

---

[8]) Mez, l. c. p. 174, 191.

Tabelle No. 4.

Name der Pflanze: *Centaurea candidissima* Lam.

Blatt-Oberseite und Unterseite mit dichtem, weißem Filz.

Versuchsanordnung: im dampfgesättigten Raum.

A. Versuchsreihe I: Blattoberseite mit Filz.

Zeit der Belichtung: No.	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile	5 Min. Skalenteile
1	18,0	49,5	81,5	113,0	140,5
2	17,5	49,0	82,0	112,5	141,0
3	19,5	50,5	83,0	114,0	142,5
4	19,0	51,0	83,5	114,5	142,0
5	18,5	49,5	82,5	113,0	141,5
6	18,0	50,0	82,0	113,5	141,0
7	19,0	50,5	83,5	114,5	142,5
8	19,5	51,0	83,0	115,0	142,0
9	21,0	52,5	84,0	114,5	143,5
10	20,0	51,5	85,0	115,5	143,5
Gesamt-Mittel:	19,0	50,5	83,0	114,0	142,0

Versuchsreihe II: Blattoberseite ohne Filz.

1	29,0	67,5	103,0	134,5	163,0
2	28,5	67,5	102,5	135,0	163,0
3	30,0	69,0	104,0	136,5	164,0
4	30,5	69,5	105,0	136,0	164,5
5	29,5	69,0	103,5	135,0	163,5
6	29,0	68,0	102,5	135,5	163,0
7	30,5	69,0	104,5	137,0	164,0
8	30,0	69,5	104,0	136,5	164,0
9	32,0	71,0	105,5	137,5	166,0
10	31,0	70,0	105,5	136,5	165,0
Gesamt-Mittel:	30,0	69,0	104,0	136,0	164,0
Prozent:	36,7%	26,8%	20,2%	16,2%	13,4%

Versuchspflanze No. 2.

B. Versuchsreihe I: Blattoberseite mit Filz.

1	20,5	52,5	86,0	118,5	147,0
2	20,0	52,5	85,5	118,0	147,0
3	20,0	53,0	87,0	118,0	147,5
4	21,0	52,0	86,0	119,0	146,5
5	18,5	50,5	84,5	116,5	145,0
6	19,0	50,5	85,0	117,0	145,0
7	22,0	53,0	87,0	119,0	147,5
8	21,0	53,5	88,0	119,0	148,0
8	18,5	51,0	85,5	117,5	145,5
10	19,5	51,0	84,5	117,5	145,5
Gesamt-Mittel:	20,0	52,0	86,0	118,0	146,5

Versuchsreihe II: Blattoberseite ohne Filz.

Zeit der Belichtung: No.	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile	5 Min. Skalenteile
1	32,0	73,0	110,5	141,5	169,0
2	32,5	73,5	110,5	141,0	168,5
3	33,0	73,0	111,0	141,5	169,5
4	32,0	74,0	110,0	142,5	169,0
5	30,5	72,0	108,5	140,0	167,0
6	31,0	71,5	108,5	140,5	167,0
7	34,0	74,5	111,0	143,0	169,5
8	33,0	74,5	111,5	142,5	170,0
9	30,5	71,5	109,0	140,5	167,5
10	31,5	72,5	109,0	141,0	167,5
Gesamt-Mittel:	32,0	73,0	110,0	141,5	168,5
Prozent:	37,5%	28,9%	21,8%	16,6%	13,1%

Bemerkenswert erschien, daß bei dieser Spezies diejenigen Blätter, welche im Kalthaus während des Winters, d. h. bei ungenügender Beleuchtung getrieben waren, sich durch wesentlich verminderte Behaarung auszeichneten, derart, daß sie im extremen Fall deutlich grün waren. Versuche, die ich mit solchen jungen Blättern angestellt habe, zeigten, daß tatsächlich die Lichtzerstreuung an ihnen beinahe vollständig aufgehoben war, ja die von mir gefundenen Größen, welche in Tabelle 5 dargestellt sind, ergeben gegenüber den vorher verzeichneten derartig große Differenzen, daß dieselben nicht allein auf die aufgehobene Lichtzerstreuung zurückgeführt werden können.

Die Erklärung für diese Zahlen ist, daß diese Blätter zugleich in ihrer ganzen Textur sehr verschieden, nämlich das zweite sehr viel dünner war, als das während des Sommers ausgebildete erste, das eine dicke, ledrige Konsistenz besaß. Demnach beweisen meine Zahlen in Tabelle 5 nur, daß tatsächlich eine sehr große Menge von Strahlen von diesen grünen, bei ungenügender Beleuchtung erwachsenen Blättern aufgenommen wird.

Um wie viel größer diese Strahlenmenge ist als diejenige, welche in normale Blätter eindringt, kann dagegen nicht ausgesagt werden, weil ein unbekannter, aber, wie ich glaube, hoher Prozentsatz der Temperaturerhöhung auf die dünne Textur der Blätter berechnet werden muß.

Die Tatsache, daß dichter Haarbelag als Lichtschutzeinrichtung dienen kann, wurde, wie oben ausgeführt, besonders von Wiesner[1]) betont. Derselbe hat nachgewiesen, daß junge Blätter von *Tussilago Farfara* L. dann, wenn man den oberen Haarbezug ohne Verletzung entfernt, im Sonnenlicht merklich erblassen, also eine Schädigung des Chlorophylls durch das Licht erfahren; auch nach Überdeckung mit einem Glassturz, der die Transpiration einschränkte und alle anderen schädigenden Einflüsse ausschloß, so daß nur noch die Lichtwirkung in Frage kam, war ein deutliches Erblassen der Blättchen zu beobachten.

[1]) l. c. § 11.

Tabelle No. 5.

Centaurea candidissima Lam. — im dampfgesättigten Raum.

Zeit der Belichtung:		1 Min.	2 Min.	3 Min.
Oberseite eines bei genügender Beleuchtung erwachsenen jungen Blattes, beiderseits mit Filzhaaren bedeckt.	1	22,5	56,0	90,5
	2	22,5	56,0	90,0
	3	22,0	55,0	90,0
	4	21,5	55,5	90,0
	5	21,0	54,5	89,0
	6	21,5	55,0	89,5
	7	20,5	53,5	88,5
	8	20,0	54,0	88,0
	9	19,5	53,0	87,0
	10	19,0	52,5	87,5
Gesamt-Mittel:		21,0	54,5	89,0
Oberseite eines bei ungenügender Beleuchtung erwachsenen jungen, beiderseits grünen Blattes.	1	42,5	96,0	142,5
	2	43,5	95,5	142,5
	3	41,5	95,0	141,0
	4	42,5	94,5	142,0
	5	42,0	95,5	141,5
	6	41,5	95,0	141,0
	7	40,5	93,0	140,0
	8	41,0	94,5	141,0
	9	39,5	92,5	139,5
	10	40,5	93,5	139,0
Gesamt-Mittel:		41,5	94,5	141,0

Ich habe *Tussilago Farfara* L., durch diese Wiesnersche Notiz angeregt, gleichfalls als Untersuchungsobjekt verwendet und gefunden, daß die Differenz zwischen haarbedeckten und künstlich entblößten Blattflächen recht bedeutend ist. Meine Tabelle 6 gibt darüber Auskunft.

Tabelle No. 6.

Name der Pflanze: *Tussilago Farfara* L.

Versuchsanordnung: im dampfges. Raum. — Zeit der Belichtung: $^1/_2$ Min.

	Junges, entfaltetes Blatt		ganz junges, noch nicht entfaltetes Blatt		ganz junges Blatt desgl.	
	Oberseite mit Haarbedeckung	Oberseite ohne Haar	Oberseite mit Haar	Oberseite ohne Haar	Oberseite mit Haar	Oberseite ohne Haar
1	26,0	30,0	13,5	17,0	19,0	27,0
2	25,5	30,5	13,5	16,5	19,5	26,5
3	27,5	31,5	14,5	18,0	20,0	27,5
4	27,0	32,0	14,0	18,0	19,0	26,5
5	28,0	33.0	13,5	17,0	21,5	29,5
6	28,5	32,5	12,5	16,0	22,0	29,0
7	28,5	33,0	11,5	15,5	21,0	28,5
8	27,0	31,5	12,5	15,0	20,5	28,0
9	26,5	31,0	12,5	16,0	20,5	28,0
10	25,5	30,0	12,0	16,0	22,0	29,5
Gesamt-Mittel:	27,0	31,5	13,0	16,5	20,5	28,0
Prozent:	14,2 %		21,2 %		26,8 %	

Es erscheint mir bemerkenswert, daß die anatomische Struktur des Haarfilzes bei *Tussilago Farfara* L. ähnlich ist derjenigen, welche oben für *Centaurea candidissima* Lam. beschrieben wurde; es sind auch hier außerordentlich lange, schlaffe, sehr vielfach und unregelmäßig gewundene Trichome, die einem kurzen, wenigzelligen Basalteil aufsitzen und deren Gestalt man nicht mit Unrecht mit derjenigen einer Hetzpeitsche verglichen hat [2]). Auch hier bilden diese Haare eine dicht verflochtene Schicht über der Blattfläche. Ein gewisser biologischer Unterschied zwischen der beschriebenen *Centaurea candidissima* Lam. und *Tussilago Farfara* L. ist insofern vorhanden, als bei ersterer die Haarbekleidung das ganze Leben hindurch bestehen bleibt, während bei *Tussilago Farfara* L. nur die Blattunterseite, des Verdunstungsschutzes halber, die Haarbekleidung behält; von der Oberseite wird sie abgeworfen, nachdem die völlige Ausbildung der Gewebe und des Chlorophylls eingetreten, der jugendliche Zustand des Blattes also überwunden ist.

Es kann keinem Zweifel unterliegen und wird auch von Wiesner u. a. betont, daß aus Filzhaaren gebildete Lichtschutzeinrichtungen gerade bei jugendlichen Blattzuständen besonders häufig sind, da die jungen Blätter mit ihrem unentwickelten Chlorophyllgewebe am meisten des Lichtschutzes bedürfen. Ich meine damit nicht die Bedeckung noch im Knospenzustand befindlicher Blätter, welche weniger dem Lichtschutz, als vielleicht mechanischen Zwecken dient, sondern diejenigen Filzbekleidungen, welche während

Tabelle No. 7.

Name der Pflanze: *Cydonia vulgaris* = *Pyrus Cydonia* L.

Versuchsanordnung: im dampfges. Raum. — Zeit der Belichtung: $^1/_2$ Min.

	I. Junges Blatt, Unterseite und Oberseite mit Haarbedeckung		II. Ganz junges, noch nicht ganz entfaltetes Blatt. Haarbedeck. wie I	
	Oberseite mit Haar	Oberseite ohne Haar	Oberseite mit Haar	Oberseite ohne Haar
1	28,5	32,5	18,0	20,5
2	29,5	33,5	20,5	23,0
3	31,0	34,5	19,0	21,5
4	30,0	34,5	20,0	22,5
5	31,5	35,5	18,0	20,5
6	28,5	32,5	20,0	22,5
7	31,5	35,0	17,5	20,5
8	29,0	33,5	19,5	21,5
9	30,5	34,0	19,0	21,5
10	30,0	34,5	18,5	21,0
Gesamt-Mittel:	30,0	34,0	19,0	21,5
Prozent:	11,8%		11,6%	

[2]) Arzneibuch für das Deutsche Reich. 4. Ed. (1900) p. 167.

der Entfaltung der jungen Blätter bestehen, dann aber nach Fertigstellung der Organe abgeworfen werden[3]).

Zu diesen Schutzeinrichtungen gehört die einzige bisher in ihrer Wirkung quantitativ untersuchte und oben zitierte Haarbekleidung der jungen Blätter von *Cydonia vulgaris* L.; verwunderlich ist dabei allein die geringe Wirksamkeit der Haarbekleidung, die Linsbauer berechnet[4]).

Ich habe deswegen auch hier nach der Methode der thermoelektrischen Messung eine Nachprüfung der Wirksamkeit dieses Haarkleides vorgenommen und bin zu den in Tabelle 7 dargestellten Resultaten gekommen.

Es ist hier der Ort, auf die von Linsbauer ausgeführten photometrischen Versuche und besonders auf die von ihm angewendete Methode zurückzukommen. Linsbauer hat von *Cydonia vulgaris* eine ganze Anzahl von Versuchen gemacht in der Weise, daß er vom jungen bis zum ausgewachsenen Zustand der Blätter die Wirkung der Haarbekleidung prüfte.

Indem er die Intensität des auffallenden Lichtes gleich Eins setzte, fand er, daß ein ganz junges Blatt durch die normale Blatthälfte 0,014 und die enthaarte 0,027 der Einheit durchließ. Die älteren Blätter ergaben mit fortschreitender Enthaarung geringere Differenzen. Von der relativen Lichtmenge wurde, um bei dem jüngsten Stadium zu verbleiben, vom Blattgewebe 0,973, von den Haaren allein 0,013 der Einheit aufgehalten.

Diese Zahlen sind, was die geringe Wirksamkeit der Haarbekleidung betrifft, derart abweichend von meinen Ergebnissen, daß, abgesehen natürlich von dem Unterschied, den Linsbauer durch senkrecht oder unter kleinem Einfallswinkel wirkendes Sonnenlicht erhalten mußte[5]), nur die Methode der Untersuchung hierfür als Erklärung herangezogen werden kann.

Es sei darauf hingewiesen, daß Linsbauer[6]) selbst betont, daß seine Zahlenwerte wegen der abweichenden Methode absolut nicht mit denen von N. J. C. Müller, Engelmann, Reinke, Vierordt verglichen werden können, und ich bin deshalb auch nicht erstaunt, daß seine und meine Zahlen solche ungeheuren Abweichungen zeigen.

Die Gestalt der Lichtschutzhaare von *Cydonia vulgaris* ist derjenigen sehr ähnlich, welche eben für *Tussilago Farfara* und *Centaurea candidissima* beschrieben wurde: ausßerordentlich langgestreckte und durcheinander gewirrte Trichome mit dünner Wandung und weitem Lumen, an den vielen Krümmungen schon unter dem Mikroskop lebhafte Lichtreflexe zeigend.

Es dürfte eine nicht uninteressante Aufgabe sein, durch Stichproben im Pflanzenreich der Frage näher zu treten, ob die Gestalt der Lichtschutzhaare, wie ich sie bei meinen Objekten mit den schlaffen und durcheinander gewirrten Trichomen gefunden habe, vielleicht allgemeiner ist. Daß diese Haargestaltung besonders geeignet für den angegebenen Zweck ist, kann

---

[3]) l. c. § 11. [4]) l. c. § 19.
[5]) Linsbauer, l. c. p. 57, 77 Anm. 1.
[6]) Linsbauer, l. c. p. 55.

keinem Zweifel unterliegen; aber auch die Schuppenhaare der Bromeliaceen, welche völlig anders gestaltet sind und sich nur durch die Abteilung der Trichomscheiben in viele schmale Segmente den bezeichneten Haaren einigermaßen nähern, zeigen, daß mit Hilfe von verschiedenen morphologischen Gestaltungen die gleichen Resultate bezüglich des Lichtschutzes erreicht werden können. — Übrigens wurde von Tietze[7]) nachgewiesen, daß auch bei vielen Bromeliaceen dadurch gleichfalls dicht verfilzte Auflagen auf den Blättern entstehen können, daß die Trichome an ihren Rändern in lange gewellte Fortsätze auslaufen; diese Filzbekleidung ist nicht nur habituell, sondern auch funktionell mit derjenigen der beschriebenen Compositen in eine Linie zu stellen.

§ 23.

Die Wirkung der glänzenden Oberflächen.

Wie bereits oben ausgeführt, war es gleichfalls zuerst Wiesner[1]), der glänzende Oberflächen als eine Einrichtung des Lichtschutzes der Pflanzen ansah, ohne jedoch in quantitative Erwägungen über die Wirksamkeit dieses Schutzmittels einzutreten. Ganz besonders weist er darauf hin, daß Blätter, welche im jugendlichen Zustand durch andere Einrichtungen geschützt sind, nach der Entfaltung eine stark lichtreflektierende Cuticula besitzen, und durch sie vor Schädigungen bewahrt werden.

Die Tatsache, daß stark glänzende Blattoberflächen eine Lichtschutzfunktion ausüben, geht schon aus den Beobachtungen, die wir in unserer heimischen Flora machen können, mit großer Wahrscheinlichkeit hervor. Der habituelle Eindruck, den die Blätter des im dichten Waldesschatten wachsenden Unterholzes machen, ist wesentlich verschieden von demjenigen, welchen auf großen Lichtgenuß gestimmte Blätter hervorrufen. Stahl[2]) hat sich mit diesen Fragen genauer beschäftigt, hat aber bei seinen Untersuchungen mehr die innere Struktur der Licht- und Schattenblätter als ihre Oberfläche berücksichtigt. Daß diese nicht vernachlässigt werden darf, geht schon daraus hervor, daß es gerade die Lichtreflexe sind, die auf dem Sonnenlaub so häufig auftreten und, wie ich glaube, den wesentlichen physiognomischen Unterschied zwischen Licht- und Schattengewächsen hervorbringen.

Um mich in dieser Beziehung auf möglichst gesichertem Boden zu bewegen, habe ich, der Erfahrung der praktischen Gärtnerkunst vertrauend, mich in Vilmorins[3]) Blumengärtnerei über typische Schattengewächse informiert und finde dort eine lange Liste von Gehölzen, die sich dadurch auszeichnen und praktische Bedeutung besitzen, daß sie noch im tiefsten Schatten zu gedeihen vermögen, also einen außerordentlich geringen Licht-

---

[7]) Tietze, l. c. p. 28 (40).

[1]) Wiesner, Die natürl. Einricht. etc. l. c. p. 42.

[2]) Stahl, Bot. Ztg. 1880 l. c. p. 868—874.

[3]) Vilmorins Blumengärtnerei; ed. 3 (1896) p. 161.

genuß nötig haben. Mit Ausnahme von *Ilex Aquifolium* L., die aber auch, wie bekannt, an sonnigen Standorten vorkommt und gerade dort sich am schönsten baumartig entwickelt, zeichnen sich die Blätter aller dieser Pflanzen durch vollkommen matte Oberflächen aus; außer bei *Ilex Aquifolium* L. ist bei keiner derselben eine spiegelnde Epidermis vorhanden; im Gegenteil haben einige der dort angeführten Spezies Andeutungen derjenigen sammetartigen Beschaffenheit, welche wir an Blumenblättern zu sehen gewöhnt sind und welche auf Papillenbildung der Epidermis beruht, also gerade auf dem Gegensatz zu einer spiegelnden Außenseite. Für derartige Blätter hat zweifellos die Bemerkung Stahls[4]) über die Vermehrung der Belichtung durch die Papillenbildung Berechtigung.

Eine gleiche Zusammenstellung extremer Lichtgewächse finde ich leider am angeführten Orte nicht. Aber die Beobachtung, welche Haberlandt[5]) als erster in den Tropen gemacht hat, daß in höchster Lichtesfülle auch die größte Menge spiegelnder Blätter vorkommt, finde ich in prägnanter Weise durch seine oben zitierten Worte bestätigt, — das Nähere hierüber sei bei Hansgirg[6]) nachgelesen, der eine Anzahl von Typen stark glänzender Lichtblätter unterscheidet, unter denen der Palmentypus wohl der hervorstechendste ist.

Ein nicht uninteressantes Beispiel für die Tatsache, daß Schattenblätter im allgemeinen glanzlose, Lichtblätter dagegen stark glänzende Oberflächen zu besitzen pflegen, bietet *Hedera Helix* L., deren Wachstum im allgemeinen im Schatten stattfindet, während die Blütenbildung durch intensives Licht bedingt wird, so daß die Pflanze sich also aus einem Gewächs

Tabelle No. 8.

Name der Pflanze: *Hedera Helix* L.

Schattenblatt mit stumpfer Oberseite.

I. Blattoberseite.

Zeit der Belichtung:	½ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	14,5	37,0	86,5	126,5	160,0
2	14,5	37,5	86,0	126,5	161,0
3	15,0	38,0	87,5	127,5	161,0
4	15,5	38,5	87,0	127,0	161,5
5	14,5	37,0	86,5	126,0	160,5
6	14,0	37,5	86,0	126,5	160,0
7	13,5	36,5	85,5	125,5	159,5
8	13,0	36,0	85,5	125,0	159,0
9	12,5	36,0	84,5	125,0	159,0
10	13,0	36,0	85,0	124,5	158,5
Gesamt-Mittel:	14,0	37,0	86,0	126,0	160,0

[4]) Stahl, Über bunte Laubblätter, l. c. p. 208. [5]) l. c. § 10.
[6]) Hansgirg, l. c. Typus 24, 26 etc.

II. Blattunterseite.

Zeit der Belichtung:	1/2 Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	13,5	36,5	86,5	125,5	160,0
2	14,5	36,5	85,5	126,5	160,0
3	14,5	37,0	86,5	127,0	160,5
4	15,0	37,5	86,5	126,5	161,0
5	13,5	36,5	85,5	126,0	160,0
6	14,0	36,0	86,0	125,5	159,5
7	12,5	35,0	85,0	125,0	158,5
8	13,0	35,5	84,5	124,5	159,0
9	12,0	34,5	84,5	124,5	158,0
10	12,5	35,0	84,5	124,0	158,5
Gesamt-Mittel:	13,5	36,0	85,5	125,5	159,5

tiefen Schattens im Laufe ihrer Entwicklung zu einem charakteristischen Lichtgewächs weiterbildet. Als Grundlage für die Untersuchungen der glänzenden Lichtblätter von *Hedera Helix* L. mußten zunächst Untersuchungen über die Reflexionstätigkeit von Oberseite und Unterseite der glanzlosen Schattenblätter vorangehen.

Die Zahlen in Tabelle No. 8 zeigen, daß bei Stellung des Blattes unter einem Winkel von 45° zum auffallenden Lichte die Erwärmung der Blattoberseite, mithin die Menge der von dieser absorbierten Strahlen eine dauernd um ein geringes höhere ist als diejenige der Blattunterseite. Dieses Resultat hat nichts überraschendes, denn die blassere Farbe der Blattunterseite, welche durch die luftgefüllten Intercellularen des Schwammparenchyms verursacht wird, zeigt schon dem bloßen Auge, daß auf der Unterseite eine etwas größere Lichtzerstreuung stattfindet als auf der Blattoberseite.

Tabelle No. 9.

Name der Pflanze: *Hedera Helix* L.

stark glänzendes Sonnenblatt.

I. Blattunterseite.

Zeit der Belichtung No.	1/2 Min. Skalenteile	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile
1	16,5	39,5	86,0	121,5	144,5
2	15,5	39,5	87,0	121,0	144,5
3	15,0	38,5	85,5	121,0	143,5
4	15,0	38,0	85,5	120,0	143,0
5	13,5	37,5	84,5	119,0	142,0
6	14,0	37,0	84,0	119,5	142,5
7	14,5	39,0	86,0	120,5	143,5
8	15,5	38,5	85,0	121,0	144,0
9	12,5	36,5	83,5	118,0	141,0
10	13,5	36,0	83,0	118,5	141,5
Gesamt-Mittel:	14,5	38,0	85,0	120,0	143,0

II. Blattoberseite.

Zeit der Belichtung: No.	1/2 Min. Skalenteile	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile
1	14,5	36,0	79,5	112,5	133,5
2	14,5	36,5	79,0	112,0	133,5
3	14,0	35,0	78,0	111,5	132,5
4	14,5	36,0	78,5	111,5	132,0
5	12,5	34,0	77,5	110,5	131,0
6	13,0	34,5	77,5	110,0	131,5
7	14,0	35,5	78,5	112,0	133,0
8	14,0	36,0	79,0	111,5	132,5
9	12,0	33,0	76,0	109,5	130,0
10	12,0	33,5	76,5	109,0	130,5
Gesamt-Mittel:	13,5	35,0	78,0	111,0	132,0
Prozent:	7,2 %	7,9 %	8,0 %	7,5 %	7,7 %

Bei den Lichtblättern verkehrt sich nun, wie Tabelle No. 9 zeigt, dieses Verhältnis vollkommen ins Gegenteil: Die schwächere Erwärmung, d. h. die geringere Menge der einfallenden Strahlen, welche in den ersten vier Minuten der Untersuchung eine zwischen 7,2 % und 8,0 % betragende Größe besitzt, also ungefähr ein Zwölftel des aufgestrahlten Lichtes, kann allein auf Rechnung der spiegelnden Oberseite gesetzt werden, während beim Schattenblatt eine derartige Schwächung des einfallenden Lichtes nicht stattfindet.

Bevor ich mit der Darstellung meiner auf die Größe der Lichtreflexion an glänzenden Blättern bezüglichen Untersuchungen fortfahre, sei zunächst ein Unterschied zwischen verschiedenen Arten spiegelnder Blätter betont.

Bei dem Lichtblatt von *Hedera Helix* L. wurden die in Tabelle No. 9 erhaltenen Werte dadurch erzielt, daß die Strahlen der Lichtquelle nicht senkrecht, sondern unter einem Winkel von 45° auf die Blattfläche geschickt wurden.

Von allen Autoren, welche sich mit den Fragen von Lichtgenuß und Lichtschutz grüner Pflanzenorgane beschäftigen, wird die Milderung des Lichtes, die durch schrägen Einfall erzielt wird, ganz besonders hervorgehoben und ist ja ohne weiteres verständlich. Die Lichtmenge, welche die Flächeneinheit eines ebenen Blattes empfängt, ist proportional dem cosinus des Einfallswinkels der auffallenden Strahlen; sie nimmt also mit zunehmendem Einfallswinkel ab. Dazu kommt noch, daß im allgemeinen mit zunehmendem Einfallswinkel i die reflektierte Lichtmenge zunimmt, die eindringende Lichtmenge dagegen abnimmt. In der Natur wird bei sämtlichen Lichtblättern, wie es scheint ohne Ausnahme, die Tendenz verfolgt, das intensivste Licht des Mittags niemals rechtwinklig auf die assimilierenden Blattflächen auffallen zu lassen, sondern stets dem Lichteinfall einen mehr oder weniger großen Winkel darzubieten. Ohne mich hier auf die Anführung vieler weiterer Zitate einzulassen, beschränke ich mich auf das Zeugnis von Ewart[7]),

[7]) Ewart, A. J., Effects of Tropical Insolation; ‚Annals of Bot.', vol. 11 p. 439.

der aus eigener Beobachtung feststellt, daß „no tropical plant places or allows its leaves to be in such a position that the upper surfaces are at right angles to the sun's incident rays when at the zenith".

Ganz besonders sind es überall die jugendlichen Blätter, welche durch ihre Stellung zum einfallenden Licht auf das deutlichste das Bestreben der Pflanze erkennen lassen, eine Reflexion der Lichtstrahlen durch schräge Stellung der Blattflächen zum einfallenden intensivsten Lichte zu erzielen[8]).

Weder bei dem Lichtblatt von *Hedera Helix* L. noch bei allen anderen von mir untersuchten dicotylen glänzenden Laubblättern konnte irgend eine größere Differenz gegenüber der matten Unterseite gefunden werden, wenn die spiegelnde Blattfläche dem Lichteinfall senkrecht entgegengestellt wurde.

Völlig anders dagegen verhielten sich die wenigen Bromeliaceenblätter mit spiegelnder Oberfläche, die ich untersuchen konnte. Vor allem ergab mir die Untersuchung von *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr., bei welcher besonders an den jungen Blättern eine sehr starke Lichtreflexion an der oberen Epidermis stattfindet, die Erscheinung, daß eine Schwächung des einfallenden Lichtes durch die Blattoberseite selbst dann eintrat, wenn die Lichtstrahlen senkrecht auffielen, ja gerade unter diesen Umständen ihr Maximum erreichten.

Habituell schon sind bedeutende Differenzen zwischen den Blättern der von mir untersuchten spiegelnden Dicotylen und denjenigen der Bromeliaceen vorhanden. Während bei allen untersuchten dicotylen Blättern ein Blattstiel vorliegt, an dem die Spreite unter einem stumpfen Winkel ansetzt und welcher geeignet ist, die Blätter in schräge Stellung zum einfallenden intensiven Licht zu bringen, ist bei den untersuchten Bromeliaceen keine derartige Einrichtung vorhanden. Die Blätter sind von der Basis bis zur Mitte ungefähr gleich breit; sie sind sehr fest und stark und nehmen mit ihrer Oberseite eine fixe Lage zum Lichteinfall ein und zwar eine Lage, welche, — da die Blätter dem Erdboden mehr oder weniger parallel verlaufen, bei *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr. ihm sogar fest angedrückt sind, — gerade um Mittag beim höchsten Stand der Sonne ein senkrechtes Einfallen der Lichtstrahlen bedingt.

Diese habituellen Verschiedenheiten entsprechen höchst merkwürdigen anatomischen Differenzen in der Epidermis der Blätter.

Ohne alle Ausnahme habe ich bei den untersuchten spiegelnden dicotylen Blättern gefunden, daß es die Außenwand der Epidermiszellen ist, welcher im wesentlichen die Wirkung der Lichtreflexionen zugeschrieben werden muß. Es ist die glatte Cuticula, ganz besonders aber auch neben ihr die deutliche, bei den untersuchten am stärksten glänzenden Blättern, besonders der Ficus-Arten, auffällig starke Schichtung der äußeren Epidermiswände, welche hier als erklärendes Moment in Frage kommt.

Es sei bemerkt, daß auch in der Physik tolale Reflexion der feinsten Art gerade durch parallele Lamellen reflektierender Flächen hervorgebracht

---

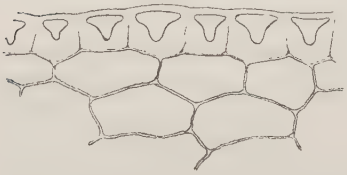
[8]) Vgl. Hansgirg, l. c. p. 439 ff.

wird und daß man sich z. B. vor der Einführung des Nicol-Prismas, dessen Wirksamkeit auf der großen Menge reflektierender paralleler Flächen beruht, künstlich zusammengesetzter Platten bediente, die aus feinsten Glaslamellen bestanden, um Lichtpolarisation zu erzeugen[9]).

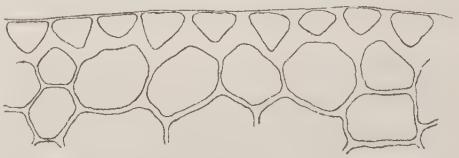
Die Tatsache, daß auch im Innern von Pflanzen, an Stellen, welche jeden Gedanken an Lichtschutzeinrichtungen ausschließen (z. B. Sklerenchymfasern in tiefer Rindenschicht, Reservezellulose in Samen etc.), geschichtete Membranen vorkommen, ja unter Umständen eine besonders starke Entwicklung der Schichten zeigen, kann nicht als Beweis angeführt werden gegen die für die beschriebenen speziellen Fälle gegebene Deutung, denn es ist klar, daß eine auf allgemeinen Ursachen beruhende Erscheinung unter Umständen zur Erreichung spezieller Zwecke Verwertung finden kann.

So sind es also nach meinen Untersuchungen die oberflächlichen Membranen der dicotylen Blätter, welche das Phänomen der Spiegelung hervorrufen, und nicht nur auf Dicotylen bezieht sich meine Ausführung, sondern auch auf einige untersuchte monokotyle Blätter, besonders aus der Familie der Araceen und Orchideen, welche durch den Blattstiel, oder wenn es sich um sitzende Blätter handelt, durch die Art ihrer Insertion an sich schon schräg zum einfallenden intensiven Licht gestellt sind.

Bei den genannten spiegelnden Bromeliaceen-Blättern dagegen sind es „Hohlspiegel"-Einrichtungen der Epidermiszellen, welche diese Eigenschaft der Lichtreflexion im wesentlichen bedingen. Dabei ist die Einrichtung nicht nur auf *Cryptanthus acaulis* Otto et Dietr. und das gleichfalls untersuchte *Nidularium splendens* beschränkt, sondern tritt bei den Gattungen *Vriesea* und *Tillandsia* bei vielen Arten auf, welche den Epiphyten niederer Ordnung zugezählt werden müssen[10]); als Beispiele für besonders schön ausgebildete Hohlspiegelzellen seien genannt: *Tillandsia aloifolia* Hook., *Tillandsia goyacensis* Mez, *Tillandsia myosura* Griseb., *Tillandsia Palmana* Mez, *Tillandsia violacea* Bak., *Tillandsia robusta* Griseb., *Chevallieria sphaerocephala* Gaudich., *Vriesea sceptrum* Mez u. a. Der Querschnitt der Epi-



Figur No. 2.
Tillandsia Goyacensis Mez.



Figur No. 3.
Tillandsia violacea Bak.
Hohlspiegelartige Epidermiszellen der Blattoberseite.

dermis eines solchen Blattes (Fig. No. 2, 3) zeigt, daß sämtliche Epidermiszellen mehr oder weniger vollständig im Querschnitt Hohlspiegelgestalt

[9]) Vgl. Hager-Mez, Das Mikroskop und seine Anwendung. 9 ed. (1904) p. 41.
[10]) Tietze, l. c. p. 43 ff.

aufweisen, so daß hier ähnliche Verhältnisse der Lichtreflexion vorliegen, wie dies bei den von Noll[11]) beschriebenen Beispielen des Protonemas von *Schistostega osmundacea* Schimp. der Fall ist, wo die hohlspiegelartigen Zellen das einfallende Licht in smaragdgrünem Glanze reflektieren. Nur hat die Einrichtung bei den glänzenden Bromeliaceenblättern einerseits, bei *Schistostega osmundacea* Schimp., dem Leuchtmoos, andererseits, durchaus verschiedene Wirkung, denn die Hohlspiegelflächen der Epidermiszellen der gesamten höheren Pflanzen werfen einen Teil des Lichtes heraus und beschützen das darunterliegende Chlorophyllgewebe vor Lichtüberfluß, während bei *Schistostega osmundacea* Schimp., das nur in engen Felshöhlen wächst, das Licht auf die in den Brennpunkten der Hohlspiegel liegenden Chlorophyllkörner konzentriert wird[12]).

Aus meiner in Tabelle 1 § 21 gegebenen vierten Spalte, die nun hier zur Besprechung heranzuziehen ist, ergibt sich, daß die Wirkung der schuppenlosen stark glänzenden Oberfläche beinahe ebenso groß ist, wie diejenige des trockenen Schuppenbelages der Unterseite; die Temperatur steigt nämlich bei der Unterseite mit trockenen Schuppen nur auf 20,0 Teilstriche, bei der glänzenden Oberseite ohne Schuppen auf 21,0 Teilstriche, während die Blattunterseite ohne Schuppen die Größe von 22,5, die Blattunterseite mit benetzten Schuppen diejenige von 23,0 Skalenteilen ergab. Vergleicht man bloß die Daten miteinander, die sich auf den schuppenlosen Zustand der Blattseite beziehen, so werden durch die Hohlspiegelsysteme auf der Oberseite der Blätter 6,7 % der einfallenden Strahlen herausgeworfen, die die Unterseite, die eine ähnliche Hohlspiegelbildung nicht so ausgesprochen darbietet, passieren.

Ganz besonders sei nochmals hervorgehoben, daß es sich bei diesen Versuchen um senkrecht auffallendes Licht handelt, und daß die Prozentzahl 6,7 unter allen Umständen eine Minimalzahl ist, weil auch auf der Unterseite eine, wenn auch geringere, Lichtzerstreuung selbstverständlich stattfindet.

Die Blätter der genannten Bromeliaceen sind rinnenförmig gebogen. Demnach wird während der hellsten Zeit des Tages eigentlich nur die Mitte des Blattes von den senkrechten Strahlen getroffen; alle diejenigen Partieen dagegen, welche mehr seitlich stehen, werden auch mehr oder weniger schief getroffen werden und sind dadurch schon von selbst im Lichtschutz. Mit dieser Überlegung stimmt überein, daß die Zellen, die wie konkave Hohlspiegel wirken, in der Mitte der Blattoberseite weitaus am besten ausgebildet sind und nach den Blatträndern zu ihre typische Gestalt allmählich verlieren. Eine besondere Wirksamkeit dieser Hohlspiegeleinrichtung der inneren Zellwände kann nur unter besonderen Umständen vorhanden sein. Die Reflexion bezieht sich nur auf diejenigen Strahlen, welche auf die ge-

---

[11]) Noll, Über das Leuchten der *Schistostega osmundacea* Schimp. Arbeit. d. Bot. Inst. in Würzburg 1888 Bd. 3 p. 477—488.

[12]) ibid. Abbild. p. 480, 481; vgl. auch Pfeffer, l. l. c. p. 345.

krümmten Wände der Zellinnenfläche fallen, dagegen nicht auf die nach außen flachen Trennungswände dieser Zellen. Diese werden von allen senkrecht einfallenden Strahlen jedenfalls durchsetzt werden. Je größer also die von den Trennungswänden der Epidermiszellen eingenommenen Flächen sind, um so geringer muß die Wirksamkeit der Hohlspiegelsysteme ausfallen. Bei den bezeichneten Bromeliaceen findet sich nun die Einrichtung, welche bei der größten Menge der Monokotylen vorhanden ist, daß die Epidermiszellen in der Richtung der Längserstreckung der Blätter außerordentlich langgestreckt sind. Es fällt deshalb eine bedeutende Größe der Minderung der Reflexionswirkung, welche bei isodiametrischen Epidermiswänden durch die in der Querrichtung gestellten Wände verursacht werden, bei den genannten Monokotylen von selbst weg.

Ich habe keinen genügenden Überblick über die Verbreitung dieser Einrichtung im Pflanzenreich, doch möchte ich aus den hier dargelegten Erwägungen folgern, daß wahrscheinlich bei den Monokotylen glänzende Blätter, welche ihre Lichtreflexion hohlspiegelförmig gekrümmten Zellinnenflächen verdanken, noch weiter verbreitet sind. Ganz besonders dürften sie in der Familie der Palmen gefunden werden.

Bei den Blättern mit spiegelnder resp. mehr oder weniger glänzender Oberfläche und geschichteter Außenhaut habe ich bei meinen Untersuchungen die im folgenden (Tabelle No. 10 bis Tabelle No. 20) dargestellten Resultate erhalten, wobei die Versuche sämtlich unter einem Lichteinfall von 45° auf das Untersuchungsobjekt angestellt worden sind.

Tabelle No. 10.

Name der Pflanze: *Cinnamomum Tamala* T.

ältere, glänzende Blätter.

Zeit der Belichtung No.	Blattoberseite		Blattunterseite	
	$^1/_2$ Min. Skalenteile	1 Min. Skalenteile	$^1/_2$ Min. Skalenteile	1 Min. Skalenteile
1	22,5	53,0	24,5	57,5
2	22,0	53,5	24,5	57,0
3	24,5	55,0	26,0	59,5
4	24,0	55,0	26,5	59,0
5	23,0	54,5	25,0	58,5
6	23,5	54,0	25,5	58,0
7	21,5	52,0	23,0	56,5
8	22,0	52,5	23,5	56,5
9	23,0	55,0	25,5	58,5
10	24,0	55,5	26,0	59,0
Gesamt-Mittel:	23,0	54,0	25,0	58,0
Prozent:	8,0 %	6,9 %	—	—

Tabelle No. 11.

Prunus Laurocerasus L.
glänzende Blätter.

Zeit der Belichtung:	I. Blattoberseite 2 Min.	3 Min.
1	70,5	104,0
2	70,0	104,5
3	68,5	102,5
4	68,5	102,0
5	69,0	103,0
6	68,5	102,5
7	71,5	106,0
8	72,0	106,0
9	70,5	104,5
10	71,0	104,5
Gesamt-Mittel:	70,0	104,0
	II. Blattunterseite	
1	78,0	115,0
2	77,5	114,5
3	75,0	113,0
4	75,5	113,0
5	75,5	113,0
6	76,5	113,5
7	79,0	116,5
8	78,5	116,0
9	77,0	114,5
10	77,5	115,5
Gesamt-Mittel:	77,0	114,5
Prozent:	9,1 %	9,2 %

Tabelle No. 12.

Encephalartos Hildebrandti A. Br.
stark glänzende, lederartige Blätter.

Zeit der Belichtung:	I. Blattoberseite ½ Min.	1 Min.	4 Min.
1	11,0	34,5	177,0
2	11,0	34,0	176,5
3	11,5	34,0	176,0
4	10,5	35,0	177,0
5	9,0	32,5	174,0
6	9,5	33,0	175,0
7	10,0	35,0	177,0
8	11,5	36,0	177,5
9	10,0	33,5	175,5
10	9,5	32,5	174,5
Gesamt-Mittel:	10,5	34,0	176,0
	II. Blattunterseite		
1	12,0	37,5	189,5
2	12,5	38,0	189,0
3	13,0	37,0	189,0
4	12,0	37,5	190,0
5	10,5	35,5	188,0
6	11,0	36,0	187,5
7	13,0	38,0	190,0
8	14,0	38,5	191,0
9	11,0	35,5	188,0
10	11,0	36,5	188,0
Gesamt-Mittel:	12,0	37,0	189,0
Prozent:	12,5 %	8,1 %	6,9 %

Tabelle No. 13.

Name der Pflanze: *Ficus bengalensis* L.
lederartiges, glänzendes Blatt.

Zeit der Belichtung:	I. Blattoberseite. ½ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	12,5	39,0	91,5	131,0	157,5
2	12,0	39,5	91,5	131,5	157,5
3	14,0	41,5	94,0	133,5	159,0
4	15,0	42,0	93,5	134,0	160,0
5	13,5	40,0	92,0	132,0	157,5
6	13,0	40,5	92,5	132,5	158,5
7	14,5	41,0	93,5	133,0	159,0
8	14,5	41,5	93,0	133,5	159,5
9	15,0	42,5	94,0	134,0	160,5
10	16,0	42,5	94,5	135,0	161,0
Gesamt-Mittel:	14,0	41,0	93,0	133,0	159,0

	II. Blattunterseite.				
Zeit der Belichtung:	1/2 Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	14,5	43,5	98,0	139,0	167,0
2	15,0	43,0	97,5	139,5	167,5
3	16,0	45,5	99,5	141,0	169,5
4	16,5	46,0	99,0	142,0	170,5
5	14,5	44,0	98,0	140,5	168,0
6	15,5	44,5	98,0	140,0	168,5
7	16,0	45,0	99,0	141,5	169,0
8	17,0	45,5	99,5	141,5	169,5
9	17,0	46,0	100,5	142,0	170,0
10	18,0	47,0	100,5	143,0	171,0
Gesamt-Mittel:	16,0	45,0	99,0	141,0	169,0
Prozent:	12,5 %	8,9 %	6,1 %	5,7 %	5,9 %

Tabelle No. 14.

Mimusops Elengi L.

	I. Blattoberseite.		II. Blattunterseite.	
Zeit der Belichtung:	1/2 Min.	1 Min.	1/2 Min.	1 Min.
1	12,0	37,0	14,5	39,0
2	11,5	37,0	14,0	38,5
3	13,5	38,5	16,0	40,5
4	12,5	36,5	14,0	39,0
5	13,5	37,5	15,0	39,0
6	14,0	38,0	15,5	40,0
7	14,5	39,0	16,0	41,0
8	13,5	38,0	16,5	40,5
9	15,5	39,5	17,0	41,5
10	14,5	39,0	16,5	41,0
Gesamt-Mittel:	13,5	38,0	15,5	40,0
Prozent:	12,9 %	5,0 %	—	—

Tabelle No. 15.

Landolphia florida Benth.

	I. Blattoberseite.			
Zeit der Belichtung:	1/2 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	28,5	111,0	144,0	172,5
2	28,0	111,5	145,0	172,0
3	27,5	110,5	143,0	171,5
4	27,0	110,0	144,0	171,0
5	28,0	110,5	143,0	170,5
6	26,5	109,5	142,5	171,5
7	26,0	109,0	142,0	170,5
8	25,5	108,5	141,5	169,5
9	27,0	110,0	142,0	170,5
10	26,0	109,5	143,0	170,5
Gesamt-Mittel:	27,0	110,0	143,0	171,0

Zeit der Belichtung:	II. Blattunterseite. ½ Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	33,0	130,0	172,0	198,0
2	34,0	130,0	171,0	198,5
3	32,0	129,5	170,5	197,0
4	33,0	130,5	170,5	197,5
5	32,0	128,5	170,0	198,0
6	31,5	129,0	169,5	196,5
7	30,5	127,5	168,5	195,5
8	31,0	128,0	169,5	196,0
9	31,0	129,0	169,5	197,0
10	32,0	128,0	169,0	196,0
Gesamt-Mittel:	32,0	129,0	170,0	197,0
Prozent:	15,6 %	14,7 %	15,9 %	13,0 %

Tabelle No. 16.

Ilex Aquifolium L.

Zeit der Belichtung:	I. Blattoberseite 1 Min.	2 Min.	3 Min.	II. Blattunterseite 1 Min.	2 Min.	3 Min.
1	31,5	63,5	88,5	38,5	77,5	105,0
2	31,5	63,0	89,0	38,0	78,0	105,5
3	33,5	66,0	90,0	40,0	79,0	107,5
4	34,0	66,5	91,0	39,5	80,0	109,0
5	32,5	64,0	89,5	38,0	78,0	106,0
6	32,0	64,5	88,5	38,5	78,0	106,5
7	34,5	66,0	92,0	40,5	80,5	108,0
8	34,0	66,0	91,0	41,5	80,0	108,0
9	33,0	65,5	90,0	40,5	79,5	107,0
10	33,5	65,0	90,5	40,0	79,5	107,5
Gesamt-Mittel:	33,0	65,0	90,0	39,5	79,0	107,0
Prozent:	16,5 %	17,7 %	15,9 %	—	—	—

Tabelle No. 17.

Aglaonema costatum N. E. Br.

grün und weiß gefleckte, glänzende Blätter. Die Thermonadel befand sich unter einer grünen Stelle des Blattes.

Zeit der Belichtung:	I. Blattoberseite. ½ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	11,5	37,0	90,5	131,0	158,5
2	11,0	37,5	90,5	130,5	158,0
3	14,0	39,5	93,0	132,5	161,0
4	13,0	40,0	92,5	132,5	160,0
5	12,5	38,0	91,5	131,0	159,5
6	12,0	38,5	91,0	131,5	159,0
7	13,5	39,0	92,0	132,0	160,5
8	13,0	39,5	92,5	132,5	160,5
9	14,5	40,5	93,0	133,5	161,0
10	15,0	40,5	93,5	133,0	162,0
Gesamt-Mittel:	13,0	39,0	92,0	132,0	160,0

II. Blattunterseite.

Zeit der Belichtung:	$^1/_2$ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	14,0	44,0	98,5	141,5	169,0
2	14,5	43,0	99,0	141,0	168,5
3	17,0	45,5	100,0	143,5	170,5
4	16,5	46,0	100,5	143,0	170,0
5	15,0	44,5	98,5	142,5	169,5
6	15,5	44,0	99,5	142,0	169,5
7	16,0	45,0	100,0	143,5	170,0
8	16,5	45,5	101,0	144,0	170,5
9	17,0	46,0	101,5	144,0	171,0
10	18,0	46,5	101,5	145,0	171,5
Gesamt Mittel:	16,0	45,0	100,0	143,0	170,0
Prozent:	18,8 %	13,3 %	8,0 %	7,7 %	5,9 %

Tabelle No. 18.

Ficus subpanduriformis Miq.

I. Blattoberseite.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	45,5	107,5	145,0	170,0
2	45,0	107,5	145,5	169,0
3	47,0	109,0	147,0	171,0
4	47,0	108,5	146,5	170,5
5	45,0	107,5	145,5	169,5
6	45,5	107,0	145,0	169,0
7	44,5	106,0	144,5	167,5
8	44,0	105,5	144,5	168,0
9	43,0	105,0	143,0	167,5
10	43,5	106,0	143,5	167,5
Gesamt-Mittel:	45,0	107,0	145,0	169,0

II. Blattunterseite.

1	59,0	121,5	161,0	185,5
2	58,5	121,0	160,0	185,5
3	59,5	122,5	162,0	187,0
4	60,0	123,0	161,5	186,5
5	58,5	121,0	160,5	185,0
6	58,0	121,5	160,5	185,5
7	57,0	120,5	159,0	184,0
8	56,5	120,0	158,5	183,5
9	56,0	119,0	158,0	183,5
10	57,0	120,0	159,0	184,0
Gesamt-Mittel:	58,0	121,0	160,0	185,0
Prozent:	22,4 %	11,6 %	9,4 %	8,6 %

Tabelle No. 19.

Anthurium nitidum Benth.

Zeit der Belichtung:	½ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.
	I. Blattoberseite.			
1	6,0	22,5	64,5	106,0
2	7,0	22,5	65,0	107,0
3	5,5	22,0	64,5	105,5
4	6,0	21,5	65,5	106,0
5	6,5	22,5	66,0	106,5
6	8,0	23,5	67,0	107,0
7	7,5	23,0	66,5	108,0
8	7,0	23,5	66,0	107,0
9	8,0	24,0	67,5	109,0
10	8,5	25,0	67,5	108,0
Gesamt-Mittel:	7,0	23,0	66,0	107,0
	II. Blattunterseite.			
1	9,5	30,0	73,0	113,0
2	10,0	31,0	73,5	112,5
3	8,5	29,5	72,5	111,0
4	8,5	30,0	73,5	112,0
5	9,5	30,5	74,5	114,0
6	10,5	31,0	75,0	113,5
7	11,0	32,0	74,0	113,0
8	10,0	31,0	73,5	112,5
9	11,5	33,0	75,5	115,5
10	11,0	32,0	75,0	114,0
Gesamt-Mittel:	10,0	31,0	74,0	113,0
Prozent:	30,0 %	25,8 %	10,8 %	5,3 %

Tabelle No. 20.

Ficus elastica Roxb. Hort. Beng.

Zeit der Belichtung:	I. Blattoberseite. 1 Min.	I. Blattoberseite. 2 Min.	II. Blattunterseite. 1 Min.	II. Blattunterseite. 2 Min.
1	5,0	8,5	7,5	11,0
2	5,5	8,5	7,0	11,5
3	4,0	7,5	5,5	10,0
4	3,5	7,0	5,0	10,0
5	5,0	9,0	6,5	11,0
6	5,5	9,5	7,0	11,5
7	4,5	8,0	6,0	10,5
8	4,5	7,5	5,5	10,0
9	4,0	8,0	6,0	10,0
10	3,5	7,0	5,0	9,5
Gesamt-Mittel:	4,5	8,0	6,0	10,5
Prozent:	25,4 %	23,1 %	—	—

Aus zwölf meiner Tabellen (No. 9 bis No. 20) geht hervor, daß tatsächlich unter Umständen die Lichtreflexion an glänzenden Blättern außerordentlich bedeutende Resultate haben kann. Sie schwankt nach den Untersuchungsergebnissen zwischen 7% und 30% der gesamten Strahlenmenge und ist jedenfalls bedeutend genug, um einen großen Einfluß auf die Vegetation zu erreichen und auch weiter noch die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich zu lenken. Es ist bemerkenswert, daß ein Gewächs unserer heimischen Flora, nämlich *Ilex Aquifolium* L. mit zu denjenigen Objekten gehört, welche den höchsten Ausschlag ergeben haben. Allerdings wird diese Spezies durch *Ficus elastica* noch bei weitem überboten. Ich zweifle nicht daran, daß bei ferneren Forschungen in den Tropen Objekte noch aufgefunden werden, bei welchen die Größe der Lichtreflexion an der Oberseite der Blätter noch viel bedeutender ist, als sie bei *Ficus elastica* gefunden wurde.

Ganz besonders sei darauf aufmerksam gemacht, daß meine Zahlen keine absoluten Reflexionsgrößen ergeben, sondern nur Vergleichszahlen zwischen den stark reflektierenden Oberseiten und den weniger reflektierenden Unterseiten der Blätter sind[13]). Unter allen Umständen reflektiert resp. zerstreut auch die Blattunterseite stets ein gewisses Quantum der empfangenen Strahlen, und die absoluten Zahlen, die für die Unschädlichmachung des auffallenden Lichtes durch die glänzende Oberseite gewonnen werden könnten, würden wesentlich höher sein, als die im Vorstehenden gegebenen Verhältniszahlen.

§ 24.

Die Reflexion des Lichtes durch Wasserüberzüge an den Blättern.

Im Verlaufe meiner Untersuchungen bin ich auch auf die große lichtreflektierende Wirksamkeit von feinen Wasserüberzügen auf den Blättern aufmerksam geworden. Es lag nahe, für die Wirkung der spiegelnden Blattoberfläche weitere natürliche Analoga zu suchen, und ich wurde bei nassem Herbstwetter auf den spiegelnden Glanz der Blätter von *Lonicera tatarica* L. aufmerksam. Diese Spezies ist eine derjenigen, welche ein typisches glanzloses Schattenlaub besitzt. Im benetzten Zustand dagegen bieten die Blätter von *Lonicera tatarica* L. wegen einer sie vollkommen überziehenden Wasserschicht außerordentlich häufig den Anschein exquisiter Lichtblätter.

---

[13]) l. c. § 20.

[1]) Frank, A. B., Krankheiten der Pflanzen. II. Aufl., 1895 Bd. I. p. 175.
v. Thümen, F., Über den Sonnenbrand der Rebenblätter. Die Weinlaube. 18. Jahrg. 1886 p. 409, 410.

Ich habe *Lonicera tatarica* L. bezüglich ihrer Reflexionsverhältnisse nicht untersucht, weil mir die Blätter zu dünn waren und bei meiner damaligen noch nicht genügenden Erfahrung zu große technische Schwierigkeiten boten. An ihrer Stelle habe ich eine ganze Anzahl dicker Schattenblätter untersucht und bestätigt gefunden, daß tatsächlich feine Wasserüberzüge viel stärker lichtreflektierend wirken, als man annehmen möchte.

Über die Wirkung der Lichtstrahlen auf benetzte Blattoberflächen sind überhaupt recht heterogene Ansichten laut geworden. Das Sonnenlicht sollte durch einen Wassertropfen analog wie durch ein Brennglas konzentriert werden und so eine lokale Tötung des Pflanzengewebes bewirken[1]). Demgegenüber wurde dann durch Experimente nachgewiesen, daß durch Wassertropfen auf der Blattfläche mit Hilfe starker Insolation und längerer Zeit verhinderter Verdunstung sowie durch Wasser von einer Temperatur bis über 60° C., womit die Pflanzen besprengt waren, keine Brennflecken auf den Blättern hervorgerufen werden konnten. Auch zeigten sich die Flecke hauptsächlich auf stark gebauten, dicken lederartigen Blättern, seltener auf dünnen und behaarten Blättern. Jönsson neigt daher zu der Annahme, daß wahrscheinlich Blasen in den Glasscheiben des Gewächshauses die Ursache der sogenannten Brennflecken sind[2]).

Durch anatomische Untersuchungen hat sich ferner ergeben, daß Blätter nur dann unbenetzbar sind, wenn eine Wachsschicht resp. Luftschicht vorhanden ist; die Wölbung der Außenwände der Epidermiszellen allein ist dagegen nicht maßgebend[3]).

Daß die Blätter der den feuchtwarmen Tropengebieten angehörigen Gewächse gewöhnlich durch vollständige Benetzbarkeit der Oberseiten ausgezeichnet sind, ist zuerst von Stahl[4]) gebührend hervorgehoben worden. Unbenetzbarkeit ist nach Stahl bei den westjavanischen Gewächsen ein seltener Ausnahmefall[5]), denn der Nutzen der Benetzbarkeit der Blattoberseite sei vor allem die schnelle Ableitung und dadurch bedingte Entlastung des Blattes vom Wasser, die Reinigung der Blattoberseite, die dadurch einigermaßen eingeschränkte Epiphyllie und endlich die rasche Trockenlegung der Spreite zur Förderung der Transpiration[6]). Im Einklang mit den Stahlschen Ansichten steht Wiesner[7]), der hervorhebt, daß Benetzbarkeit eine nie fehlende Eigenschaft des ombrophilen Blattes sei; das ombrophobe Blatt verträgt eine solche Wasseraufnahme nicht, und wenn es nicht den Schutz der Unbenetzbarkeit erworben hat, so geht es unter der

---

[2]) Bengt Jönsson, Om brännfläckar på växtblad. Botaniska Notiser. För år 1891. Lund 1891 p. 1—16, 49—62.

[3]) Knothe, Erich, Vergleichende Anatomie der unbenetzbaren Blätter. Inaug. Diss. Heidelberg 1902 p. 27 ff., 46.

[4]) Stahl, E., Regenfall und Blattgestalt. Ein Beitrag zur Pflanzenbiologie. Extrait des Annales du Jardin Bot. de Buitenzorg, Vol. XI. 1893 p. 100.

[5]) ibid. p. 117. [6]) ibid. p. 120 ff.

[7]) Wiesner, Pflanzenphysiol. Mitt. aus Buit. III. l. c. p. 185—187.

Einwirkung des Regens um so rascher zu Grunde. Eine große Zahl von Pflanzen sind, besonders nach direkter Bestrahlung durch die Sonne, nur unvollkommen benetzbar, werden es aber wieder, wenn Regen fällt, oder wenn die Blätter unter Wasser getaucht werden. Bemerkenswert ist auch, daß die im ausgebildeten Zustande völlig benetzbaren Blätter im Jugendzustande garnicht oder wenig benetzbar sind[8]).

Obgleich ich nur mit einer beschränkten Zahl von Blättern experimentierte, habe ich den Eindruck, daß die leicht benetzbaren Blätter dem Typus der Schattenblätter angehören, und daß die Eigenschaft großer Benetzbarkeit besonders unter den Schattenblättern weit verbreitet ist. Dies stimmt auch gut zu der Tatsache, daß bei Lichtblättern im allgemeinen eine sehr viel stärkere Ausbildung der Cuticula als bei den Schattenblättern vorhanden ist, und mit der Beobachtung, daß mangelnde Cuticularisation die Benetzung beträchtlich fördert, sehr starke Ausbildung der Cuticula, besonders, wenn aus ihr Wachs ausgeschieden ist, die Benetzbarkeit mindert oder vollständig aufhebt.

Ich komme nochmals auf die Tabelle No. 8, das Schattenblatt von *Hedera Helix* L. betreffend, zurück. Dasselbe für die Versuche der Tabelle No. 8 verwendete Blatt habe ich auch für die in Tabelle No. 21 dargestellten Untersuchungen verwendet, welche in der Weise angestellt wurden, daß mit einem feinen Pinsel Wasser aufgetragen und soviel wie möglich gleichmäßig verteilt wurde, so daß ein dünner Wasserüberzug auf dem Blatt haften blieb; dann wurde das Blattstück im dampfgesättigten Raum ebenso wie bei den entsprechenden Versuchen vorher unter einer Neigung von 45° den einfallenden Lichtstrahlen ausgesetzt.

Tabelle No. 21.

Hedera Helix L. Schattenblatt.

I. Blattoberseite trocken.					
Zeit der Belichtung:	1/2 Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	14,5	37,0	86,5	126,5	160,0
2	14,5	37,5	86,0	126,5	161,0
3	15,0	38,0	87,5	127,5	161,0
4	15,5	38,5	87,0	127,0	161,5
5	14,5	37,0	86,5	126,0	160,5
6	14,0	37,5	86,0	126,5	160,0
7	13,5	36,5	85,5	125,5	159,5
8	13,0	36,0	85,5	125,0	159,0
9	12,5	36,0	84,5	125,0	159,0
10	13,0	36,0	85,0	124,5	158,5
Gesamt-Mittel:	14,0	37,0	86,0	126,0	160,0

[8]) ibid. p. 188.

II. Blattoberseite benetzt.					
Zeit der Belichtung:	1/2 Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	11,5	30,5	75,5	114,5	147,0
2	12,0	31,5	76,5	116,0	148,0
3	13,0	32,5	77,0	115,0	146,5
4	12,5	31,5	76,0	114,0	146,0
5	11,5	30,5	75,5	113,5	146,5
6	12,0	31,0	76,5	114,5	146,0
7	10,5	30,0	74,5	113,0	145,0
8	11,0	31,5	75,0	114,0	145,5
9	10,0	29,5	73,5	112,0	144,0
10	11,0	31,5	75,5	113,5	145,5
Gesamt-Mittel:	11,5	31,0	75,5	114,0	146,0
Prozent:	17,9%	16,2%	12,2%	9,5%	8,8%

Die Ergebnisse der Tabelle No. 21 sind auffallend verschieden von denjenigen der Tabelle No. 8, die das gleiche Blatt betreffen und zeigen, daß tatsächlich die Reflexion an dem das Blatt überziehenden Wasserhäutchen Größen erreicht, die von vielen mit glänzender Oberfläche von der Natur versehenen Lichtblättern nicht geliefert wurden. Um zu zeigen, daß diese Eigenschaft der Lichtreflexion an vollkommen benetzten Blättern nicht auf *Hedera Helix* L. beschränkt ist, sondern in den verschiedensten Pflanzenfamilien in vollkommen gleichmäßiger Weise auftritt, also eine weitgehende Bedeutung besitzt, füge ich im folgenden meine Tabellen No. 22, 23, 24 ein.

Tabelle No. 22.

Laurus nobilis L.

I. Blattoberseite trocken.					
Zeit der Belichtung: No.	1/2 Min. Skalenteile	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile
1	14,0	34,5	75,0	108,5	137,0
2	13,5	34,0	74,0	109,0	137,5
3	11,5	31,0	73,0	106,5	134,5
4	11,5	31,5	72,5	106,5	134,0
5	13,5	33,0	74,0	108,5	136,0
6	13,0	33,5	74,5	109,0	136,5
7	14,0	34,0	75,0	108,5	136,5
8	14,5	34,0	76,0	109,5	137,5
9	12,0	32,5	72,5	107,0	135,0
10	12,5	32,0	73,5	108,0	135,5
Gesamt-Mittel:	13,0	33,0	74,0	108,0	136,0

Zeit der Belichtung No.	½ Min. Skalenteile	1 Min. Skalenteile	2 Min. Skalenteile	3 Min. Skalenteile	4 Min. Skalenteile
		II. Blattunterseite.			
1	14,0	33,5	75,5	109,5	136,5
2	13,0	33,5	74,5	109,0	137,5
3	11,5	31,5	73,5	106,0	135,5
4	12,0	32,0	73,0	106,5	135,5
5	13,5	33,5	74,5	108,0	136,5
6	13,5	33,0	75,0	108,5	137,5
7	14,0	34,0	75,5	109,0	137,0
8	14,5	34,5	76,5	109,0	138,0
9	12,5	32,5	74,0	107,5	135,5
10	11,5	32,0	73,0	107,0	135,0
Gesamt-Mittel:	13,0	33,0	74,5	108,0	136,5
		III. Blattoberseite benetzt.			
1	13,5	32,0	69,5	100,0	127,0
2	12,0	30,5	68,5	99,0	126,5
3	10,5	28,5	66,0	97,5	124,0
4	11,5	29,5	66,5	98,0	124,5
5	13,0	30,0	68,0	99,0	126,0
6	12,0	31,0	68,5	99,5	127,0
7	13,5	31,0	70,0	100,5	127,5
8	12,5	30,5	69,0	100,0	127,0
9	11,0	29,0	67,5	98,5	125,0
10	10,5	28,0	66,5	98,0	125,5
Gesamt-Mittel:	12,0	30,0	68,0	99,0	126,0
Diff v I/III in Prozent:	7,7 %	9,1 %	8,1 %	8,3 %	7,4 %

Tabelle No. 23.

Rhododendron ponticum L., ältere Blätter.

Zeit der Belichtung:	½ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
		I. Blattoberseite trocken,			
1	11,5	32,0	78,5	118,0	153,5
2	12,0	32,5	78,0	119,0	154,0
3	12,5	33,0	78,0	119,5	153,5
4	13,0	34,0	80,0	120,0	155,5
5	14,0	34,5	79,5	120,5	155,0
6	13,5	34,0	79,0	119,0	154,5
7	14,5	35,0	80,5	121,0	156,0
8	14,5	34,0	80,0	120,0	155,5
9	15,0	36,0	81,0	122,0	156,5
10	14,5	35,0	80,5	121,0	156,0
Gesamt-Mittel:	13,5	34,0	79,5	120,0	155,0

II. Blattunterseite.

Zeit der Belichtung	$^1/_2$ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	12,0	33,0	78,0	118,5	154,5
2	13,0	32,5	78,0	119,5	154,0
3	14,0	33,5	79,0	120,0	156,0
4	13,0	32,0	78,5	119,0	154,0
5	14,5	35,0	80,0	121,5	155,5
6	14,0	34,0	79,5	120,5	155,0
7	15,0	35,0	80,5	121,5	156,0
8	14,0	34,5	79,5	121,0	156,5
9	15,5	36,0	81,5	122,0	157,0
10	15,0	34,5	80,5	121,5	156,5
Gesamt-Mittel:	14,0	34,0	79,5	120,5	155,5

III. Blattoberseite benetzt.

1	10,0	30,0	73,5	113,0	145,5
2	10,5	29,5	74,0	113,5	146,5
3	12,0	31,5	75,5	114,0	145,5
4	11,0	30,5	73,5	112,0	146,0
5	13,0	32,0	74,5	114,0	147,5
6	12,0	31,5	75,5	114,5	148,0
7	13,5	32,5	76,0	115,0	148,0
8	12,0	31,0	75,0	114,5	147,5
9	13,5	33,5	76,0	115,5	148,5
10	12,5	33,0	76,5	114,0	147,0
Gesamt-Mittel:	12,0	31,5	75,0	114,0	147,0
Diff. v. I/III in Prozent:	11,1 %	7,4 %	5,7 %	5,0 %	5,2 %

Tabelle No. 24.

Ruscus Hypoglossum L.

I. Morphologische Oberseite, trocken.

Zeit der Belichtung:	$^1/_2$ Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	13,5	35,0	83,0	124,0	159,0
2	13,0	35,5	82,0	123,5	158,5
3	14,0	36,0	82,5	123,5	159,5
4	12,5	35,0	81,5	122,0	158,0
5	12,0	34,0	81,0	122,5	157,0
6	11,5	33,0	80,5	121,0	157,5
7	13,0	34,5	82,0	122,5	158,5
8	12,0	34,5	81,0	122,0	157,5
9	14,5	36,0	83,0	125,0	160,0
10	14,0	36,5	83,5	124,0	159,5
Gesamt-Mittel:	13,0	35,0	82,0	123,0	158,5

II. Morphologische Unterseite.

Zeit der Belichtung:	1/2 Min.	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
1	14,0	36,0	82,5	123,5	159,5
2	13,5	35,0	82,0	123,5	159,0
3	13,0	36,0	83,0	124,0	159,0
4	12,5	34,0	81,5	122,5	157,5
5	11,5	33,5	80,0	121,0	156,5
6	12,0	34,0	81,0	122,0	158,0
7	13,0	35,0	82,0	123,0	158,0
8	12,0	34,0	81,5	122,0	157,5
9	15,0	36,5	84,0	124,5	160,0
10	13,5	36,0	82,5	124,0	160,0
Gesamt-Mittel:	13,0	35,0	82,0	123,0	158,5

III. Morphologische Oberseite, benetzt.

1	10,5	29,0	73,0	113,0	149,0
2	11,0	28,0	72,0	112,5	148,5
3	12,0	29,5	73,0	113,5	149,0
4	10,0	28,5	71,5	112,0	147,5
5	9,5	27,5	71,0	111,5	146,5
6	8,5	27,0	70,0	111,0	146,0
7	10,5	28,5	71,5	112,0	148,0
8	9,5	27,5	71,0	112,0	147,0
9	12,5	30,0	74,0	114,0	150,0
10	11,0	29,5	73,0	113,0	148,5
Gesamt-Mittel:	10,5	28,5	72,0	112,5	148,0
Diff. v. I/III in Prozent:	19,2 %	18,6 %	12,2 %	8,5 %	6,6 %

Die Tabellen No. 22, 23, 24 betreffen die mir gerade zur Hand gewesenen Schattenformen der Blätter von *Laurus nobilis* L., *Rhododendron ponticum* L. und der Cladodien von *Ruscus Hypoglossum* L.

Ich habe in diesen Tabellen zunächst dargestellt, daß es sich bei den Blättern dieser Pflanzen, wenigstens bei den Schattenblättern — denn sowohl *Laurus nobilis* L. wie *Rhododendron ponticum* L. bilden an den dem Licht stark ausgesetzten Stellen häufig auch oberseits glänzende Blätter aus — zunächst um vollkommene Gleichheit der Reflexionsverhältnisse auf Blattoberseite und Blattunterseite handelt; im benetzten Zustand dagegen, d. h. in dem Augenblick, wo ein feiner Wasserbelag die Blattfläche überzieht, nehmen die Blätter den Charakter extremer Lichtblätter an, reflektieren also bedeutende Mengen der einfallenden Strahlen.

Es ist hier die Stelle, auf die Bedeutung der von Jungner[9]) an den Blättern der Pflanzen des regenreichen Kamerungebirges beobachteten „Stachelspitzen“ oder „Träufelspitzen“[10]) für das Leben derjenigen

[9]) Jungner, J. R., Anpassungen der Pflanzen an das Klima in den Gegenden der regenreichen Kamerungebirge. Bot. Zentralbl. 1891, Bd. XLVII. No. 12 p. 353 ff.

[10]) Stahl, E., l. c. p. 100 ff.

Pflanzen zurückzukommen, die mit diesem so außerordentlich auffälligen und charakteristischen Merkmal versehen sind.

Stahl[11]), dem wir die Untersuchung der biologischen Verhältnisse verdanken, die ihren morphologischen Ausdruck in der Träufelspitze der Blätter gefunden haben, hat überzeugend dargetan, daß diese Einrichtung dazu dient, die Blätter möglichst rasch von dem anhängenden Wasser zu befreien. So wurde z. B. ein unversehrtes Blatt von *Coffea arabica* in 15 Minuten vollständig entwässert, während es nach Entfernung der Träufelspitze zwei Stunden brauchte, um zu trocknen[12]). — Die hauptsächlichste Bedeutung dieser Einrichtung wird von Stahl darin gesehen, daß durch die Träufelspitze eine möglichst rasche und vollständige Entlastung des Blattes eintrete, damit kein Zerreißen des Aufbaues der Pflanze erfolge[13]).

Auch Wiesner[14]) hat sich mit vorliegender Frage beschäftigt. In Übereinstimmung mit Stahl weist er darauf hin, daß es vor allem die ombrophile Vegetation der Tropen sei, welche die Träufelspitzen im höchsten Maße ausgebildet besitze, ja daß die Träufelspitze direkt einen typischen Charakter des extrem ombrophilen Laubes darstelle[15]). Auch mit der Stahlschen Erklärung, daß es sich um möglichst rasche Entlastung der Blätter vom Wasser durch die Träufelspitzen handele, ist Wiesner[16]) einverstanden.

Ich zweifle nicht daran, daß diese Erklärung teilweise wenigstens zutrifft, möchte aber doch darauf aufmerksam machen, daß nach der bekannten Wirkung von Gebrauch oder Nichtgebrauch von Organen, um mich der Darwinschen Ausdrucksweise zu bedienen oder nach der Fortentwicklung, welche diese Darwinschen Sätze in der Entwicklungsmechanik erfahren haben, einigermaßen seltsam ist, daß ein Schutz gegen übermäßige Belastung nicht durch Ausbildung der mechanischen Gewebe von Blattstiel und Blatt, sondern durch Entwicklung der Träufelspitzen geschaffen sein soll. Wir kennen viele Anpassungen an mechanische Verhältnisse im Pflanzenreich; sie betreffen aber sämtlich die Ausbildung mechanischer Gewebe. Die Träufelspitzen sind die einzige bisher bekannt gewordene Ausnahme von dieser Regel.

Ich habe versucht, mich in der Litteratur darüber zu unterrichten, ob die Träufelspitzen nicht vielleicht zugleich ein Ausdruck der Organisation des tropischen Schattenblattes seien, habe aber gefunden, daß diese Frage bisher noch nicht aufgeworfen worden ist. Einiges ist den Angaben Stahls[17]) zu entnehmen, der die Träufelspitze als ein charakteristisches Merkmal der

[11]) Stahl, l. c. p. 98 ff. [12]) ibid. p. 108. [13]) ibid. p. 121.

[14]) Wiesner, l. c. p. 185, 186. [15]) ibid. p. 186. [16]) ibid.

Vgl. auch die Abbild. von Blättern mit Träufelspitzen bei Stahl, l. c. Taf. X bis XII, Hansgirg, l. c. p. 112. — Eine außerordentlich lange, 75 mm messende Träufelspitze wies eine 100 mm lange Blattspitze von *Ficus religiosa* auf. (Stahl, l. c. p. 103.)

[17]) Stahl, l. c. p. 100, 129.

regenreichen westjavanischen Flora bezeichnet, wo „nur während weniger Morgenstunden spärlich Sonnenstrahlen auf den Grund des düsteren Urwaldes mit dem vollständig durchnäßten Boden dringen“. In Gegenden mit sehr trockenem Klima, auf hohen Berggipfeln und am Meeresstrand, also bei Pflanzen mit xerophilem Charakter, wie überhaupt bei Blättern, die mit Schutzmitteln gegen starke Verdunstung ausgerüstet sind, kommen Träufelspitzen selten vor. Auch in unserem gemäßigten Klima erreichen die Träufelspitzen gerade an sehr feuchten, halbschattigen Standorten ihre größte Ausbildung[18]).

Die mir durch Herrn Prof. Mez in liebenswürdiger Weise vermittelte mündliche Auskunft des genauen Kenners der Flora des brasilianischen Amazonasgebietes und seiner biologischen Anpassungen, des Herrn E. Ule, lautet dahin, daß, soweit seine Erinnerung gehe, typische Träufelspitzen sich entweder nur oder doch vorzüglich bei Gewächsen finden, welche im Urwald hauptsächlich dem Unterholz angehören (Melastomaceen etc.), die also wohl Schattenblätter aufweisen.

Da ich zur Beurteilung dieser Frage keine weiteren Unterlagen habe, so möchte ich hier nur darauf hinweisen, daß nach meinen Untersuchungen die Träufelspitzen recht wohl den Zweck haben könnten, die Blätter vom Wasser schnell zu befreien, nicht um sie zu entlasten, sondern um ihnen eine möglichst intensive Assimilation zu ermöglichen, denn es ist keine Frage, daß ein Wasserüberzug, der, wie meine Untersuchungen beweisen, die Gesamtmenge der auf das Blatt fallenden Strahlen um etwa 10 bis 20 Prozent schwächen kann, gerade Gewächsen zum Schaden gereichen muß, die an sich schon an Orten mit geringer Beleuchtung wachsen.

Ich betone jedoch, daß diese Ausführungen über die Bedeutung der Träufelspitzen für die Pflanzen durchaus hypothetischen Charakter besitzen und durch Untersuchungen an Ort und Stelle auf ihre Stichhaltigkeit erst noch geprüft werden müssen.

Lichtschutz durch nicht-trichomatöse Auflagen auf der Epidermis.

§ 25.

1. Wachsauflagen.

Auch auf den Lichtschutz, den besonders lichtzerstreuende Wachsbedeckungen gewähren, wurde in der Literatur bereits mehrfach hingewiesen, ohne daß jedoch quantitative Untersuchungen, die Aufschluß geben könnten über die Bedeutsamkeit dieses Schutzmittels, bisher vorhanden waren oder zu einem Resultat geführt hätten[1]).

---

[18]) Stahl, l. c. p. 134.

[1]) Vgl. Ursprung, l. c. 62.

Obgleich ich nur eine relativ geringe Anzahl derartiger Gewächse untersuchte, konnte ich doch feststellen, daß tatsächlich Wachsauflagen auf Blättern unter Umständen zu ziemlich bedeutender Lichtzerstreuung führen können. Ich zweifle demnach nicht daran, daß die Angaben der Autoren, die bisher nur allgemein von lichtschützender Wirkung derartiger Auflagen gesprochen haben, wohlbegründet sind.

Eines der merkwürdigsten Gewächse bezüglich seines Lichtgenusses ist ohne Zweifel *Eucalyptus Globulus*, bei dem der Lichtschutz, den die Profilstellung der Folgeform der Blätter der Pflanze gewährt, zu den bekanntesten Schulbeispielen der Lichtschutzeinrichtungen gehört.

Im Gegensatz zu der Blattstellung der Folgeform zeigt bekanntlich die Jugendform dieser Pflanze gegenständige Blätter, die nicht ihre Kanten, sondern ihre Flächen dem Lichteinfall darbieten. Je jünger diese Blätter sind, um so dicker sind sie mit einem bläulich-weißen Wachsreif überzogen, der unter Umständen ganz jungen Blättern ein schneeweißes Aussehen geben kann. Dieser Wachsreif ist mit Hilfe von Äther leicht zu entfernen; ich habe deshalb die Blätter von *Eucalyptus Globulus* Labill. Voy. zur Untersuchung herangezogen.

Tabelle No. 25.

Eucalyptus Globulus Labill. Voy.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.
	I. Blattoberseite mit Reif.			
1	59,0	132,0	197,5	259,5
2	58,5	131,5	198,0	259,5
3	60,0	133,5	199,5	262,0
4	60,5	134,0	199,0	261,0
5	61,5	134,5	200,5	263,0
6	61,0	133,5	200,5	262,0
7	60,0	133,0	199,5	261,5
8	61,0	134,0	200,0	262,0
9	59,5	132,5	198,0	259,5
10	59,0	131,5	197,5	260,0
Gesamt-Mittel:	60,0	133,0	199,0	261,0
	II. Blattoberseite ohne Reif.			
1	63,0	138,0	207,5	270,5
2	62,0	137,5	206,0	270,0
3	64,0	140,0	208,0	271,5
4	65,0	140,5	208,5	272,0
5	66,0	141,5	210,0	273,5
6	65,0	140,0	209,0	272,5
7	63,5	139,5	208,0	272,0
8	64,5	140,5	208,5	272,5
9	64,0	139,0	207,5	271,0
10	63,0	138,5	207,0	269,5
Gesamt-Mittel:	64,0	139,5	208,0	271,5
Prozent:	6,3 %	4,6 %	4,3 %	3,9 %

Tabelle No. 25 gibt meine Untersuchungsresultate wieder, die sich auf bereits herangewachsene, aber doch noch ihrer ganzen Textur nach innerlich nicht völlig ausgebildete Blätter beziehen.

Ein anderes Beispiel mit stärker bereiften Blättern ist *Cotyledon pulverulenta* Bak. Obgleich durch mehrfache Untersuchungen nachgewiesen wurde, daß derartige Succulenten eine ganz besonders hohe und eine die Norm weit übersteigende Temperaturerhöhung vertragen können[2]), so ist doch auch hier die Bereifung deutlich als Lichtschutzeinrichtung zu erkennen. Blackman und Matthaei[3]) haben außerdem gezeigt, daß bei gewöhnlichen Blättern hohe Temperaturen erreicht werden können, wie sie vorläufig nur für Succulenten bewiesen worden sind; jedenfalls geht bei den dicken succulenten Blättern nicht so viel Wärme hindurch als dies bei

Tabelle No. 26.

Cotyledon pulverulenta Bak.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.	6 Min.	7 Min.
			I. Blatt mit Reif.				
1	10,0	30,0	47,0	63,5	79,5	95,0	108,0
2	9,5	30,5	46,5	63,0	79,0	94,0	106,5
3	9,0	29,0	47,0	63,0	78,0	93,0	106,0
4	9,0	29,5	47,5	64,0	79,0	93,5	106,5
5	10,5	31,5	48,0	64,5	80,0	95,0	108,0
6	11,0	32,0	49,0	65,0	80,5	96,0	109,0
7	11,5	31,5	49,0	65,5	81,0	95,5	109,0
8	12,0	32,5	49,5	66,5	81,5	96,5	110,0
9	11,0	31,0	48,5	64,5	80,0	95,0	108,0
10	11,5	32,5	49,0	65,5	81,5	96,5	109,0
Gesamt-Mittel:	10,5	31,0	48,0	64,5	80,0	95,0	108,0
			II. Blatt ohne Reif.				
1	10,5	33,5	52,0	70,5	87,0	103,0	116,5
2	10,0	33,0	51,5	69,0	86,0	101,5	115,0
3	11,0	33,0	51,0	69,5	86,5	102,0	116,0
4	10,0	32,5	51,0	69,0	86,0	101,0	115,5
5	12,0	34,5	53,0	71,5	88,0	103,5	117,0
6	11,5	34,0	52,5	71,0	87,5	103,5	118,0
7	12,5	35,0	53,5	70,5	88,0	104,0	117,0
8	13,0	35,5	54,0	72,0	88,5	104,5	119,0
9	12,5	35,0	53,0	71,5	87,5	103,0	116,5
10	12,0	34,0	53,5	71,0	88,0	104,0	118,5
Gesamt Mittel:	11,5	34,0	52,5	70,5	87,5	103,0	117,0
Prozent:	8,7%	8,8%	8,6%	8,5%	8,6%	7,8%	7,7%

[2]) Pfeffer, l. c. II. p. 295, 848. — Askenasy, Über die Temperatur, welche Pflanzen im Sonnenlicht annehmen. Bot. Ztg. Leipzig 1875 p. 442, Ursprung, l. c. p. 74 u. a.

[3]) Blackman und Miß Matthaei, l. c. p. 411.

dünnen Blättern der Fall ist. Es ist daher begreiflich, daß gerade auch bei succulenten Blättern Schutzeinrichtungen nötig sind, die von vornherein einen gewissen Prozentsatz von Strahlen zurückwerfen, damit auch hier, gerade wie bei dünnen Blättern, nicht übermäßig viel Wärme das Blatt in ungünstiger Weise beeinfluße.

Meine Tabelle No. 26 zeigt, daß über 8% der Strahlen durch diesen Wachsreif zerstreut werden.

Auch bei *Echeveria*-Arten ist es leicht, den Reif, der auf den Bättern liegt, durch Abwischen zu entfernen. Zugleich kommt hier aber noch eine Komplikation für die Untersuchung der Verhältnisse hinzu, die darin besteht, daß nach dem Abwischen des Reifes eine glänzende Epidermis sichtbar wird. Es handelt sich hier also um eine Kombination der von mir im dritten und fünften Kapitel des experimentellen Teils behandelten Eigenschaften; eine Würdigung der bei der Lichtzerstreuung vorhandenen beiden Komponenten ist hier aber deswegen leicht möglich, weil die Haut der Blätter sich auf große Strecken mit Leichtigkeit abziehen läßt, so daß nacheinander der auf liegende Reif wie auch die glänzende Oberseite entfernt werden kann.

Tabelle No. 27.

Echeveria bracteosa. Lindl. u. Paxt. = *Cotyledon Pachyphytum* Bak.

Zeit der Belichtung	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.
I. Blattoberseite mit Reif.					
1	20,5	49,0	79,0	110,5	139,5
2	21,5	50,0	79,5	111,0	140,5
3	20,0	49,0	78,0	109,5	140,0
4	20,5	48,5	78,0	110,0	141,5
5	21,0	49,5	80,0	110,5	141,0
6	22,5	51,0	80,5	111,0	142,0
7	21,5	50,5	79,0	111,5	141,5
8	22,0	50,0	79,5	112,0	143,0
9	22,5	51,0	80,5	112,0	142,5
10	23,0	51,5	81,0	112,0	143,5
Gesamt-Mittel:	21,5	50,0	79,5	111,0	141,5
II. Blattoberseite ohne Reif.					
1	25,0	58,0	88,5	120,5	151,0
2	25,5	59,0	89,5	121,5	152,0
3	24,5	57,5	89,0	120,0	151,0
4	25,5	58,0	90,5	121,0	152,5
5	26,5	59,0	90,0	120,0	152,0
6	27,0	60,0	91,0	122,0	153,0
7	25,5	59,0	90,5	121,0	152,5
8	26,0	59,5	91,5	123,0	153,5
9	27,0	60,0	92,0	122,5	153,0
10	27,5	60,0	92,5	123,5	154,5
Gesamt-Mittel:	26,0	59,0	90,5	121,5	152,5

III. Blattoberseite ohne Haut.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.
1	28,5	62,5	98,5	132,0	166,5
2	29,0	64,0	99,5	132,5	167,0
3	27,0	63,0	98,0	132,0	165,5
4	28,0	64,0	98,5	133,5	166,5
5	28,5	63,5	99,0	133,0	167,0
6	30,0	65,0	100,5	134,5	167,5
7	29,0	64,5	99,5	134,0	167,5
8	30,0	65,5	100,0	134,0	168,5
9	29,5	65,5	100,5	134,5	168,5
10	30,5	66,5	101,0	135,0	169,5
Gesamt-Mittel:	29,0	64,5	99,5	133,5	167,5
Diff. von I/III in %: = Wirkung v. Reif + Haut:	25,9%	22,5%	20,1%	16,9%	15,5%
Diff. von II/III in %: = Wirkung v. Haut:	10,3%	8,5%	9,0%	9,0%	9,0%

Tabelle No. 28.

Echeveria imbricata Deleuil.

I. Blattoberseite mit Reif.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.
1	21,5	56,5	95,0	133,0	172,0
2	21,5	57,0	95,5	134,0	173,0
3	22,5	57,5	96,0	134,5	173,5
4	22,0	56,5	95,0	134,0	172,5
5	23,0	58,0	96,5	135,5	174,5
6	23,5	58,5	97,0	136,0	174,5
7	24,5	59,5	98,0	136,5	176,0
8	24,0	59,0	97,5	135,5	174,0
9	23,5	58,5	97,0	135,0	174,5
10	24,0	59,0	97,0	136,0	175,5
Gesamt-Mittel:	23,0	58,0	96,5	135,0	174,0

II. Blattoberseite ohne Reif.

1	24,0	61,5	102,0	143,0	183,0
2	24,5	62,5	103,0	143,5	184,0
3	23,5	63,0	103,5	144,0	184,5
4	24,0	63,0	103,0	143,0	183,5
5	25,0	63,5	104,0	144,0	185,0
6	26,0	64,5	104,5	145,0	186,0
7	26,5	64,0	105,0	146,5	186,5
8	26,0	65,0	105,0	145,5	186,0
9	25,0	63,5	104,5	145,0	185,0
10	26,5	65,5	105,5	145,5	186,5
Gesamt-Mittel:	25,0	63,5	104,0	144,5	185,0

III. Blattoberseite ohne Haut.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.
1	28,0	70,5	114,5	158,0	200,0
2	29,0	72,0	115,5	158,5	201,5
3	30,0	71,0	115,0	159,0	201,5
4	28,5	70,0	114,5	158,0	200,5
5	30,0	72,0	116,5	159,5	202,5
6	31,0	72,5	117,0	160,0	202,0
7	31,5	74,0	117,5	161,0	204,0
8	30,5	72,5	117,0	160,5	202,5
9	30,0	72,0	116,5	160,0	202,0
10	31,5	73,5	117,0	160,5	203,5
Gesamt-Mittel:	30,0	72,0	116,0	159,5	202,0
Diff. v. I/III in %: = Wirk. v. Reif + Haut:	23,3 %	19,4 %	16,8 %	15,4 %	13,9 %
Diff. v. II/III in %: = Wirk. v Haut:	16,7 %	11,8 %	10,3 %	9,4 %	8,4 %

In Tabelle No. 27 habe ich die Untersuchungsresultate von *Echeveria bracteosa*, in Tabelle 28 diejenigen von *Echeveria imbricata* dargestellt. Es ergibt sich, daß bei dem ersteren Untersuchungsobjekt die Gesamtgröße der Wirkungen beider Reflexionseinrichtungen 25,9 %, bei den letzteren 23,3 % der einfallenden Strahlen beträgt. Davon kommt bei der in Tabelle No. 27 dargestellten Spezies ungefähr die Hälfte der Wirkung auf die hier besonders auffällige Reifbedeckung, während bei *Echeveria imbricata* (Tabelle No. 28) die Reifbedeckung nur mit ca. 7 %, die spiegelnde Oberfläche mit etwas über 16 % am Resultat beteiligt sind.

Ein ähnliches Verhältnis der Kombination von Reifbedeckung mit spiegelnder Oberfläche der Epidermis dürfte auch bei *Cacalia repens* L.

Tabelle No. 29.

Cacalia repens. L. = *Senecio succulentus.*

I. Mit Reif.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.
1	19,5	54,0	92,5	131,5	171,0
2	19,0	53,5	92,0	131,5	170,5
3	18,0	52,5	90,5	130,0	169,0
4	17,5	52,0	91,0	131,0	168,5
5	18,5	53,0	90,5	130,0	170,0
6	17,5	52,0	89,5	129,5	169,5
7	19,0	53,5	92,0	130,5	170,5
8	20,0	54,5	92,5	132,0	171,5
9	21,0	55,5	93,0	133,0	172,5
10	20,0	54,5	91,5	132,0	172,0
Gesamt-Mittel:	19,0	53,5	91,5	131,0	170,5

II. Ohne Reif,

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.
1	23,0	59,5	99,0	138,0	177,0
2	22,5	59,0	98,5	137,5	176,0
3	21,0	58,5	97,0	136,5	175,0
4	20,0	57,5	96,5	135,5	174,0
5	21,5	57,0	97,0	135,5	174,0
6	20,5	56,5	97,0	135,0	173,5
7	23,0	58,5	99,0	138,0	176,5
8	23,5	59,0	98,0	137,0	175,0
9	23,0	60,0	99,5	139,0	177,5
10	22,0	59,5	98,5	138,0	176,5
Gesamt-Mittel:	22,0	58,5	98,0	137,0	175,5
Prozent:	13,6%	8,5%	6,7%	4,4%	2,8%

vorhanden sein, nur ist mir hier, weil sich die Epidermis nicht so gut abziehen läßt, die Verteilung der Wirkung auf die einzelnen Faktoren nicht in gleicher Weise gelungen wie bei *Echeveria*.

Tabelle No. 29 stellt deswegen nur die Reflexionswirkung dar, die von dem Reifbelag allein ausgeübt wird; dieselbe hält sich ungefähr auf der Höhe, wie sie bei den *Echeveria*-Arten uns entgegentritt, und es ist nach Analogie mit diesen anzunehmen, daß die spiegelnde Epidermis den Gesamtbetrag der Strahlenreflexion noch wesentlich erhöht.

§ 26.

2. Rauhe Oberflächen.

In Tabelle No. 30 stelle ich noch die Untersuchungsergebnisse an der Kapländischen *Rochea falcata* D. C. dar, bei welcher die lichtzerstreuende Schicht der fleischigen Blätter nicht durch Reif, sondern durch „dicht aneinander schließende, panzerartige Oberhautzellen“ gebildet wird. Hansgirg[1]) macht auf den *Rochea*-Typus besonders aufmerksam und hebt die eigentümliche Einrichtung der Oberhautzellen vor allem als Schutz gegen übermäßige Verdunstung und gegen Tierfraß hervor. Ferner zeichnet sich unter den bei dem Dickblätter-Typus vorkommenden Einrichtungen zum Schutz gegen intensive Insolation usw. *Rochea falcata* noch besonders durch Profilstellung aus[2]). — Bei dieser Spezies ist es nun ebenso wie bei der *Echeveria* leicht, die Blattepidermis auf große Strecken abzuziehen; wie meine Tabelle ergibt, ist die lichtzerstreuende Wirkung der Epidermis und ihrer Auflagen hier gleichfalls sehr bedeutend.

[1]) Hansgirg, l. c. p. 182.
[2]) Hansgirg, l. c. p. 194, 195.

Tabelle No. 30.

Rochea falcata D. C.

Zeit der Belichtung:	1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.
	I. Oberseite des Blattes mit Haut.				
1	30,5	73,5	117,0	161,0	203,5
2	30,0	72,5	116,0	160,5	203,0
3	32,0	74,5	117,5	162,0	205,5
4	32,5	75,0	118,5	162,5	205,0
5	31,0	73,0	117,0	160,0	204,0
6	31,5	73,5	117,5	160,0	204,5
7	32,5	76,0	119,0	163,0	207,0
8	33,5	76,5	120,0	163,5	207,0
9	33,0	75,0	118,5	161,5	205,0
10	33,5	75,5	119,0	163,0	205,5
Gesamt-Mittel:	32,0	74,5	118,0	161,5	205,0
	II. Oberseite des Blattes ohne Haut.				
1	37,0	84,5	133,0	179,0	223,0
2	36,0	84,0	132,5	178,0	221,5
3	37,0	86,0	133,0	180,0	222,5
4	38,0	86,5	134,0	180,5	223,5
5	37,5	85,0	133,5	178,5	223,0
6	38,5	86,0	134,0	179,5	224,0
7	39,5	87,5	135,5	181,5	224,5
8	40,0	88,0	136,0	182,0	225,5
9	38,0	86,5	134,5	180,5	223,5
10	38,5	86,0	134,0	180,5	224,0
Gesamt-Mittel:	38,0	86,0	134,0	180,0	223,5
Prozent:	15,8 %	13,4 %	11,9 %	10,3 %	8,3 %

§ 27.

Andere Ergebnisse meiner Versuche.

Zum Schluß sei es mir gestattet, in kurzem noch auf einige andere Verhältnisse hinzuweisen, die ich bei meinen Untersuchungen gefunden habe.

Zunächst habe ich der Tatsache zu gedenken, daß unter Umständen bei Succulenten auch Epidermisausbildungen vorhanden sind, die nicht eine Schwächung, sondern eine Verstärkung der einfallenden Lichtintensität bewirken.

Ich habe lange Zeit mit *Mesembrianthemum cristallinum* L. mich abgemüht, weil ich annahm, daß auch bei dieser Pflanze die bekannten linsenartigen, mit klarem Zellsaft erfüllten Blasen auf Blatt und Achse irgend etwas mit Lichtschutz zu tun hätten. Die Methode meiner Untersuchung, die hier selbstverständlich im dampfgesättigten Raum stattfand, war die gleiche wie bei den vorhergehenden Versuchen. Ich entfernte die epidermalen Linsen dadurch, daß ich sie mit einem Skalpell ritzte, zerquetschte

und durch vorsichtiges Rollen auf Fließpapier die Objekte so gut wie möglich trocknete. Ich ging von der Voraussetzung aus, daß auch hier ein Anstieg der Temperatur nach Entfernung der bezeichneten Gebilde sich bemerkbar machen werde.

Tabelle Nr. 31.

Mesembrianthemum cristallinum L.

Vesuchsreihe I: Mit Blasen.		Ohne Blasen.
Zeit der Belichtung:	1 Min.	1 Min.
1	11,0	9,0
2	11,0	8,5
3	10,5	9,0
4	11,5	9,5
5	12,0	10,5
6	12,5	11,5
7	13,5	11,0
8	13,0	10,0
9	12,5	10,5
10	12,5	10,5
Gesamt-Mittel:	12,0	10,0
Prozent:	16,7%	—

Meine Tabelle No. 31 beweist, daß dies nicht der Fall ist, ja daß direkt das Gegenteil eintrat. Die klaren, wie Krystalle glänzenden Blasen, auf Blatt und Achse von *Mesembrianthemum cristallinum* L. wirken demnach nicht als lichtzerstreuende, sondern als lichtsammelnde Apparate.

Die hauptsächlichste Bedeutung dieser blasenartigen Ausstülpungen von Epidermiszellen liegt allerdings in der Regulierung der Absorption des Wassers und ist somit eine Schutzeinrichtung gegen die Gefahr des Austrocknens. Die Pflanzen entziehen nämlich, wie Volkens beobachten konnte, in Ermangelung der für sie, besonders zur Zeit der Fruchtentwicklung, notwendigen Feuchtigkeit, den Blasen ihren flüssigen Inhalt, um schließlich bis auf die heranreifenden saftigen Früchte ganz zu vertrocknen. Morphologisch ähnliche Wasserblasen wie *Mesembryanthemum cristallinum* zeigen auch *Aizoon canadense, Aizoon hispanicum, Caylusea canescens, Reseda pruinosa, Reseda arabica* und verschiedene *Atriplex*-Arten[1]).

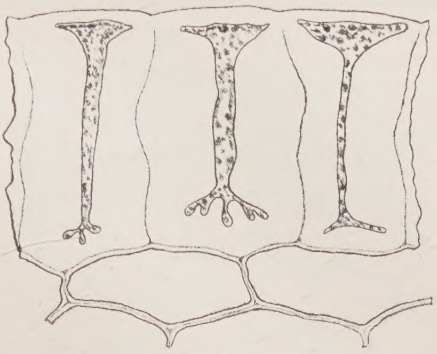
Ferner bin ich bei meinen Untersuchungen über die Lichtzerstreuung an Bromeliaceen-Blättern auf zwei allerdings vereinzelt auftretende, aber doch höchst charakteristische anatomische Merkmale aufmerksam geworden, die, wie ich glaube, gleichfalls mit dem Lichtschutz zu tun haben[2]).

Bei *Acanthostachys strobilacea* Klotzsch und *Tillandsia vernicosa* Bak. wurde unter Schuppenbelag und Epidermis der Blätter eine feste Hypoderm-

[1]) Volkens, l. c. p. 54, 54; vgl. Abbild. Taf. XIII.

[2]) Hohlspiegelartige Zellen, vgl Fig. 2, 3. § 23.

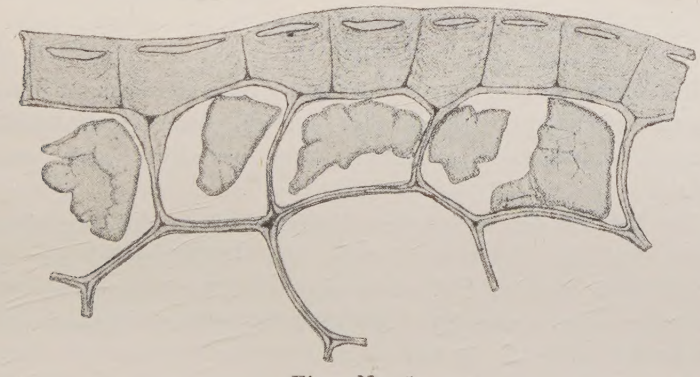
lage gefunden, die in sehr sonderbarer Weise ausgebildete Lumina zeigt. Fig. 4 stellt diese Verhältnisse dar; die Querschnitte der Hypodermzellen zeigen, daß die Lumina außerordentlich schmal und langgezogen sind, so daß zunächst die Ansicht sehr wahrscheinlich ist, daß es sich bei diesen gewölbeartig gebauten Sklerenchymschichten um eine mechanische Einrichtung oder um Verdunstungsschutz handele. Aber die Ausbildung der nach oben und unten erweiterten Lumina, die im trockenen Zustand mit braungefärbtem Inhalt versehen sind, könnte doch auch darauf hinweisen,



Figur No. 4.
Tillandsia vernicosa Bak.

daß diese Zellen als Beleuchtungsschutz dienen. Denn es geht aus meiner Figur hervor, daß die Zelllumina mit ihrem braunen Inhalt als Blenden wirken, und daß nur diejenigen Strahlen ungehindert zum Chlorophyllgewebe gelangen können, welche die schmalen Lücken zwischen den Zelllumina passieren.

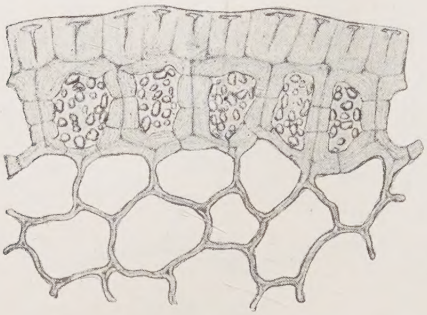
Bei *Tillandsia Karwinskyana* Schult. tritt gleichfalls die Bildung eines Hypoderms auf, von dem ich annehme, daß es ebenfalls mit Lichtschutz zu tun habe. Ich fand nämlich (vgl. Fig. 5) diese Hypodermzellen aus-



Figur No. 5.
Tillandsia Karwinskyana Schult.

gefüllt mit großen zerklüfteten Kieselbrocken, welche, wie die Beobachtungen unter dem Mikroskop zeigten, sowohl ihrer unregelmäßigen Form wegen, wie wegen der Spalten, die sie durchsetzten, eine beträchtliche lichtzerstreuende Wirkung besaßen. Die großen Schuppen von *Tillandsia Karwinskyana* Schult. stehen überdies sehr dicht und auch die Epidermis ist besonders nach innen sehr stark verdickt. Andere Beispiele sind *Tillandsia ixioides* Griseb., das sich durch einen auf das ganze Blatt ausgedehnten

sehr starken Sklerenchymschutz auszeichnet, der aus den bis auf ein meist nagelförmiges Lumen verdickten Epidermiszellen und einem starken, steinzellenartigen Hypoderm besteht, das mit lichtbrechenden Körnchen dicht vollgepfropft ist und als (vgl. Fig. 6) intensive Lichtzerstreuungsschicht dienen dürfte. *Tillandsia Duratii* Vis., mit der nach innen etwas verdickten, ziemlich großzelligen Epidermis, ist im Hypoderm mit vielen stark lichtbrechenden, teilweise sphaerokrystallischen Brocken sehr schön ausgezeichnet, und bei der *Tillandsia andicola* Gill. weist die nach innen verdickte Epidermis in jeder Zelle ein Krystalloid auf; auch einzelne Hypodermzellen sind noch mit solchen versehen.



Figur No. 6.
Tillandsia ixioides Griseb.

Derartige Kieselkörper in Epidermiszellen oder Hypodermzellen assimilierender Organe sind bekanntlich gerade bei den Monokotylen nichts seltenes[3]). Ob sie hier als Lichtzerstreuungsapparate wirken, und ob dies vielleicht allgemein ihre Funktion ist, vermag ich nicht mit Sicherheit zu sagen, doch spricht mein hier dargestellter Befund, wenigstens was *Tillandsia Karwinskyana* Schult. betrifft, für diese Annahme.

§ 28.
Resultate.

1. Die Arbeit gibt eine Übersicht der in der Litteratur bekannt gewordenen Lichtschutzeinrichtungen. Dabei zeigt es sich, daß den zahlreichen Beobachtungen umfassendere quantitative Untersuchungen nicht zuteil geworden sind.

2. Die Methode der vorliegenden Untersuchungen wird beschrieben und diskutiert. Bei den Versuchen beträgt der Einfallswinkel der auf die Blätter fallenden Strahlen 45°, ausgenommen bei den Bromeliaceen-Blättern. Die Messungen werden ausgeführt mit Hilfe eines Thermoelements und eines Galvanometers. (Fig. 1. § 20.)

3. Die Versuche ergeben, daß behaarte Blätter weniger stark erwärmt werden als glatte Blätter; — z. B. wurde ein der dichten weißen Filzbekleidung auf der Blattoberseite beraubtes Blatt von *Centaurea candidissima* Laur. um 37,5% stärker erwärmt.

4. Bei, besonders auf der Blattoberseite, glänzenden Blättern zeigt sich, daß die Erwärmung des Blattes stärker ist, wenn die das Licht weniger intensiv

[3]) Kohl, Anatomisch-physiologische Untersuchung der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. Marburg 1889 p. 267 ff.

reflektierende Blattunterseite der Lichtquelle zugewandt wird; — bei einem Blatt von *Anthurium nitidum* Benth. z. B. betrug der Unterschied 30%.

5. Die mit einem Wasserüberzug versehenen, benetzten Blattoberflächen weisen eine den glänzenden Blättern entsprechende Wirkung auf. — Im benetzten Zustand wurde ein Phyllocladium von *Ruscus Hypoglossum* L. z. B. um 19,2% weniger erwärmt als im trockenen Zustande. Die Bedeutung der Träufelspitze als Ausdruck der Organisation eines Schattenblattes liegt daher vielleicht in dem Bestreben, das Wasser deshalb schnell zu entfernen, um die an sich schon geringe Lichtintensität zwecks größerer Assimilation möglichst auszunützen. Ganz andere Verhältnisse liegen bei den wasseraufnehmenden Bromeliaceen-Schuppen vor; hier wird durch die wassergetränkten Schuppen die Lichtbrechung aufgehoben, also die benetzte Pflanze höher erwärmt.

6. Bereifte, also mit Wachsbedeckungen versehene Blätter werden (z. B. *Cacalia repens* L. um 13,6%) weniger erwärmt, als die gleichen der Wachsbedeckung beraubten Blätter. Die Wirkung der Wachsbedeckung kann jedoch durch eine darunter liegende glänzende Epidermis (z. B. *Echeveria bracteosa* Lindl. u. Paxt.) wesentlich erhöht werden.

In gleicher Weise wirken die dicht aneinanderschließenden Oberhautzellen von *Rochea falcata* D. C.

7. Die Außenwand der Epidermiszellen, die glatte Cuticula, daneben die starke Schichtung der äußeren Epidermiswände, besonders bei den *Ficus*-Arten, also jedenfalls die oberflächlichen Membranen der Blätter, rufen das Phänomen der Spiegelung hervor.

Bei einer Anzahl von Bromeliaceen sind es dagegen Epidermiszellen, die, wie Hohlspiegel wirkend, die Lichtreflexion im wesentlichen bedingen dürften. (Fig. 2, 3. § 23.)

Während linsenförmige epidermale Gebilde (z. B. von *Mesembrianthemum cristallinum* L.) eine Konzentration des Lichtes verursachen können, läßt die eigenartige Ausbildung der mit braunem Inhalt angefüllten, sehr schmalen und langgezogenen Lumina der Hypodermzellen bei den Blättern von *Acanthostachys strobilacea* Klotzsch und *Tillandsia vernicosa* Bak. vermuten, daß diese Lumina mit ihrem braunen Inhalt als Blenden wirken. (Fig. 4. § 27.)

8. Wahrscheinlich werden auch die Krystallkörper in der Hypodermis der Blätter verschiedener anderer Bromeliaceen (z. B. *Tillandsia Karwinskyana* Schult.) mit ihrer beträchtlichen lichtzerstreuenden Wirkung als Lichtschutz in Erwägung gezogen werden müssen. (Fig. 5, 6. § 27.)

Vorliegende Arbeit wurde unter Anleitung des Herrn Prof. Dr. Mez in Halle a. S. ausgeführt; es sei mir gestattet, für die ständig mir zuteil gewordene liebenswürdige Anregung und Unterstützung auch an dieser Stelle herzlich zu danken.

Lebenslauf.

Ich, Adolf Kurt Baumert, bin geboren am 16. Januar 1884 zu Magdeburg, evangelischer Konfession, preußischer Staatsangehöriger, Sohn des Königlichen Eisenbahnzugführers Karl Baumert und seiner Ehefrau Rosa, geborene Exner, besuchte von 1893 an die städtische Realschule in Magdeburg, verließ sie 1899 mit dem Zeugnis der Reife, ging dann zur Guericke-Schule (Oberrealschule mit Realgymnasium) in Magdeburg über, wo ich 1902 die Abiturientenprüfung bestand. Seit dieser Zeit studierte ich an der Königlichen vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg in Halle an der Saale Naturwissenschaften und Mathematik, ließ mich nach Ablauf des S. S. 1906 in Halle exmatrikulieren und bestand Ende des W. S. 1906/07 an der Friedrich-Alexanders-Universität in Erlangen am 6. März 1907 das examen rigorosum.

Während meiner Studienzeit besuchte ich Vorlesungen und praktische Übungen bei folgenden Herren Professoren und Dozenten: *Aschaffenburg, Baumert, Berger, Brandes, Brüel, Cantor, Conrad, Dorn, Ebbinghaus, Fries, v. Fritsch †, Grenacher, Kirchhoff †, Klebs, Köthner, Küster, Luedecke, Mez, Reischle, Riehl, Schmidt (Karl), Schultze (Siegmar), Schulz (August), Scupin, Uphues, Vaihinger, Volhard, Vorländer, Wangerin, Wüst.*

Allen diesen genannten Herren, meinen hochverehrten Lehrern, sowie den Herren Professoren *Falckenberg, Fischer, Lenk, Solereder* und *Wiedemann* spreche ich meinen tiefgefühlten, aufrichtigsten Dank aus.